

Joni Suortti

Planmeca ProMax -kefalostaatin erillissuuntauksen kehittäminen

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Terveystieteiden tekniikka

Insinöörityö

9.5.2014

Tekijä Otsikko	Joni Suortti Planmeca ProMax -kefalostaatin erillissuuntauksen kehittäminen
Sivumäärä Aika	84 sivua + 1 liite 9.5.2014
Tutkinto	insinööri (AMK)
Koulutusohjelma	sähkö
Suuntautumisvaihtoehto	terveydenhuollon tekniikka
Ohjaajat	tuotannon menetelmäsuunnittelija Antti Saikkonen lehtori Jukka Kuikanvirta
<p>Insinöörityössä esitettiin tutkimus Planmeca ProMax -kefalostaatin suuntauksen kehittämisestä. Tutkimuksessa suunniteltiin kaksi suuntausmenetelmää, joiden avulla koe-suunnattiin laitteita. Toinen menetelmä perustui suunnattaville laitteille määritettyyn yhteiseen suuntausreferenssiin ja toinen röntgensäteilyn simuloimiseen linjalangoilla. Kehitettyjä menetelmiä arvioitiin suuntaamisen, asentamisen ja suuntauksen laadun näkökulmasta. Tulosten perusteella tehtiin muutosehdotus tuotannon kehittämiseksi.</p> <p>Kaksi suuntausmenetelmää suunniteltiin suuntaustyökokemuksen pohjalta. Menetelmiä testattiin suuntaamalla ProMax-kefalostaatteja nykyisestä suuntausmenetelmästä poiketen erillään ortopantomografeista, joiden kanssa kefalostaatteja käytetään. Suuntauksen laatua arvioitiin myös nykyisessä suuntausmenetelmässä käytettävien <i>beam check</i>- ja korvatukitestikuvien perusteella.</p> <p>Linjalankasuuntausmenetelmän testeissä saatiin rohkaisevan hyviä tuloksia, ja menetelmän suuntaus- ja asennusprosessit vaikuttivat käyttökelpoisilta. Referenssisuuntauksen laatu ei ollut menetelmän vaatimiin laitteistomuutoksiin nähden tarpeeksi hyvä.</p> <p>Suuntaustesteissä selvisi, että kefalokuvaukseen liittyvät ortopantomografin kalibrointiasetukset vaihtelevat pääasiassa ortopantomografista johtuvista tekijöistä. Huomattiin myös, että kefalostaatin beam check -kuvaan vaikuttaa kefalostaatin kaihtimen asennon lisäksi ortopantomografin varren asento. Lisäksi selvisi, että kefalostaatin röntgenkuvat voivat olla vaatimusten mukaiset, vaikka kefalostaatin asento olisi väärä asennon määrittämisessä käytettävän suuntauslaserin mukaan.</p> <p>Testien perusteella voitiin tehdä muutosehdotus jälkiasenteisten kefalostaattien suuntausmenetelmään. Uusi menetelmä perustuu testattuun linjalankasuuntaukseen ja parantaa huomattavasti jälkiasenteisten kefalostaattien suuntauksen laatua. Menetelmää voidaan mahdollisesti kehittää myös ProMaxien mukana toimitettavien kefalostaattien suuntaukseen sopivaksi, mutta se vaati jatkotutkimuksia.</p>	
Avainsanat	hammasröntgenlaite, ortopantomografi, kefalostaatti, ProMax, suuntaus

Author Title	Joni Suortti Developing The Separate Aligning Process of The Planmeca ProMax Cephalostat
Number of Pages Date	84 pages + 1 appendix 9 May 2014
Degree	Bachelor of Engineering (AMK)
Degree Programme	Electrical Engineering
Specialization Option	Medical Engineering
Instructor	Antti Saikkonen, Production Method Designer Jukka Kuikanvirta, Senior Lecturer
<p>This thesis concerns developing the aligning process of the Planmeca ProMax cephalostat. Two aligning methods were designed and they were used to test align equipment. One of the methods was based on a common reference set for the equipment being aligned and the other used string lines to simulate x-ray beams. Methods developed were evaluated from the alignment's, installation's and quality's point of view.</p> <p>The two aligning methods were designed based on working experience in the equipment aligning. The methods were tested by aligning the ProMax cephalostats, as opposed to the alignment method in use, separate from the orthopantomographs used with the cephalostats. The quality of the alignment was evaluated with beam check and ear support test images used in the current alignment method.</p> <p>The tests of the aligning method using string lines gave encouraging results and the aligning and installation processes seemed usable. The quality of the aligning method based on common reference was not good enough considering the required modifications on the equipment.</p> <p>From the aligning tests it became clear that an orthopantomograph's calibration settings associated with cephalo imaging vary because of factors related to the orthopantomograph. It was also noted that a cephalostat's beam check image is affected by the arm position of an orthopantomograph in addition to the position of the cephalostat's collimator. In addition it became clear that x-ray images produced by a cephalostat can meet the requirements even if the alignment of the cephalostat is incorrect according to the cephalostat alignment laser.</p> <p>Based on the alignment tests a modification suggestion to the retrofit cephalostat alignment process could be made. The new method is based on the tested method using string lines and it improves the quality of retrofit cephalostats' alignment. It is possible that the method can be developed for aligning cephalostats delivered with ProMax units but it needs further research.</p>	
Keywords	dental x-ray machine, orthopantomograph, cephalostat, ProMax, aligning

Sisällys

Tiivistelmä

Abstract

Sisällys

1	Johdanto	1
2	Planmeca Oy -yritysesittely	2
3	Erillissuuntauksen tausta	3
4	Erillissuuntauksen tavoitteet	4
5	ProMax-mallien valinta tutkimukseen	6
6	ProMaxiin ja sen suuntaamiseen liittyvä teoria	8
6.1	Ortopantomografi ja panoraamakuvantaminen	8
6.2	Kefalostaatti ja kefalometria	14
6.3	Planmeca ProMax ja sen rakenne suuntaajalle	20
7	Nykyiset ProMax-kefalostaatin suuntausmenetelmät	25
7.1	Kefalostaatin suuntaus ProMaxin kanssa	26
7.2	Jälkiasenteisen kefalostaatin suuntaus	35
7.3	ProMax-ortopantomografin suuntaus	36
8	Referenssisuuntaus	40
8.1	Referenssisuuntaustestin valmistelu	42
8.2	Referenssisuuntaustesti	43
8.2.1	Ortopantomografin kefalokuvaustilan referenssisuuntaus	44
8.2.2	Kefalostaatin referenssisuuntaus	49
8.3	Kefalostaatin asennus ja referenssisuuntaustestin tulokset	51
8.4	Referenssisuuntausmenetelmän arviointi	53

9	Linjalankasuuntaus	55
9.1	Linjalankasuuntaustestin valmistelu	57
9.1.1	Suuntaussensorin valmistus	58
9.1.2	Suuntausvarren valmistus	64
9.1.3	Suuntausvarren kalibrointi	66
9.2	Linjalankasuuntaustesti	66
9.2.1	SCARA3-kefalostaatin linjalankasuuntaus	67
9.2.2	SCARA2-kefalostaatin linjalankasuuntaus	68
9.3	Kefalostaattien asentaminen ja linjalankasuuntaustestin tulokset	70
9.3.1	Kalibrointikefalostaatin asennus	70
9.3.2	Suunnattujen kefalostaattien asennus	72
9.4	Linjalankasuuntausmenetelmän arviointi	76
10	Päätelmät	78
11	Pohdinta	81
	Lähteet	83
	Liite 1. Räjätyskuva suuntaussensorista	

1 Johdanto

Planmeca ProMax on suomalaisen Planmeca Oy:n valmistama ortopantomografimallisto. Ortopantomografi on röntgenlaite, jota käytetään hampaiden ja kasvon rakenteiden panoraamakuvantamiseen. ProMaxeihin on saatavilla kefalostaatti lisäosa, joka mahdollistaa myös pään röntgenkuvaamisen ortopantomografian säteilylähdettä käyttäen.

Planmecan röntgenlaitetuotannossa koneet valmistetaan kolmessa vaiheessa. Koneen valmistus aloitetaan pystytyksestä, jossa laitteen runko kasataan. Seuraavaksi kone siirtyy elektroniikkakokoonpanoon, jossa laitteen elektroniikka ja koneen mukana toimitettava kefalostaatti asennetaan. Viimeinen vaihe on suuntaus, jossa laite kalibroidaan tuotamaan laatuvaatimukset täyttäviä röntgenkuvia.

Jos ProMaxin mukana toimitetaan kefalostaatti, osat suunnataan käytössä olevien työohjeiden mukaan yhdessä. Yksittäisen ProMaxin mukana toimitettava kefalostaatti ei ole suuntaukseltaan yhteensopiva muiden ProMaxien kanssa. Jälkiasennussarjana toimitettavat kefalostaatit esisuunnataan tehtaalla, mutta ne pitää suunnata uudelleen asennuksen yhteydessä.

Insinööritö on tehty Planmeca Oy:n röntgenlaitetuotannossa yrityksen toimeksiantona. Työssä esitellään kaksi uutta suuntausmenetelmää, joilla kefalostaatti voidaan suunnata ilman ProMaxia niin, että sen voi asentaa mihin tahansa ProMax-ortopantomografiin. Erillissuuntausmenetelmät suunniteltiin suuntaustyön ohella tehdyn empiirisen tutkimuksen perusteella. Erillissuuntausmenetelmiä testattiin ja niitä arvioitiin suuntauksen käytössä olevien laatustandardien perusteella. Suoritettujen testien perusteella tehtiin ehdotus tuotantomenetelmien muuttamisesta.

Työssä käydään läpi kummankin menetelmän suuntaus- ja asennustestit. Työn lopussa esitetään suuntaustestien tulosten pohjalta muodostettu ehdotus tuotantomenetelmien muuttamisesta.

Jos kefalostaatit voitaisiin suunnata erikseen, tuotanto olisi joustavampaa ja nopeampaa, ja jälkiasennussarjojen asentaminen olisi helpompaa. Tutkimukselle on ollut tarve muutamana vuoden ajan, mutta yritys ei ole ollut valmis sijoittamaan siihen merkittävästi resursseja. Erillissuuntausta on tutkittu aikaisemmin röntgenlaitetuotannossa, mutta kehityksessä ei olla päästy toimiviin ratkaisuihin.

2 Planmeca Oy -yritysesittely

Planmeca Oy suomalainen yritys, joka valmistaa, suunnittelee ja markkinoi hammashoitoalan laitteita. Sen valmistamiin tuoteryhmiin kuuluvat hammashoitokoneet, hammasröntgenlaitteet ja digitaaliseen kuvantamiseen liittyvät ohjelmistot. Tuotteet suunnitellaan ja valmistetaan Planmecan toimitiloissa Helsingin Herttoniemessä. [1.]

Planmeca on Planmeca Group -yhtiöryhmän emoyhtiö. Koko Planmeca Groupin palveluksessa on noin 2 400 henkilöä maailmanlaajuisesti. Planmecan Helsingin toimipisteissä työskentelee noin tuhat henkilöä.

Planmecalla on nykyään kaksi ulkomailla toimivaa tytäryritystä Norjassa ja Kanadassa, ja suurin osa markkinoista on ulkomailla. Yli 98 % tuotannosta menee ulkomaille yli 100 maahan. Suurin kasvava markkina-alue on Kiina. Yrityksen liikevaihto oli vuoden 2013 tammikuussa 213 M€, mikä on 26,9 % kasvua edelliseen vuoteen. [2; 3.]

Planmecan nykyinen pääomistaja Heikki Kyöstilä perusti yrityksen vuonna 1971. Kaupparekisteriin yritys on lisätty 6.6.1969. Yritys valmisti alkuaikoinaan hammaslääkärin aputuoleja, instrumenttikaappeja, potilastuoleja ja hoitokoneita. 1980-luvulla Planmeca toi markkinoille ensimmäisen panoraamaröntgenlaitteensa. Planmeca ProMax -tuotesarja julkaistiin 2000-luvulla. [1; 4.]

3 Erillissuuntauksen tausta

Planmecan röntgenlaitetuotannossa on tarvetta tuotannon lisäämiselle. Tuotantotiloja on juuri remontoitu suuremmiksi ja tehokkaammiksi, joten niiden parantaminen ei ole enää järkevästi toteutettavissa. Eräs keino lisätä tuotantoa olisi sen tehostaminen tuotannon prosesseja muuttamalla.

Eräänä ratkaisuna tähän on pidetty kefalostaattien erillissuuntausta. Erillissuuntauksella tarkoitetaan sitä, että kefalostaatit suunnataan erillään ProMaxeista, joiden kanssa niitä on tarkoitus käyttää. Erillissuuntausmenetelmää on yritetty kehittää aikaisemminkin, mutta projektit eivät ole tuottaneet käyttökelpoista suuntausmenetelmää.

Röntgenlaitteen suuntaustyön tarkoitus on viimeistellä kokoonpano ja säätää laitteisto niin, että sen tuottamat kuvat ovat vaatimusten mukaisia. Panoraamalaitteen putkipään ja kefalostaatin sensorin välillä on pitkä osien valmistuksesta ja laitteen kokoonpanosta aiheutuva varianssiketju eli kokonaisuus, jossa osien vaihtelut ovat kytköksissä toisiinsa. Tämä vaihtelu tekee jokaisesta ortopantomografi–kefalostaatti-yhdistelmästä yksilöllisen suunnattavan. Tämän takia kefalostaatit suunnataan nykyisin ProMax-laitteiden kanssa, joiden mukana ne toimitetaan.

Planmecalla ollaan jo muutaman vuoden ajan harkittu ProMaxin kefalostaatin suuntausmenetelmän muuttamista niin, että ProMaxien suuntaus muuttuisi nopeammaksi ja joustavammaksi. Nykyisin suuntaustyö vaatii lyijyllä vuoratun suuntauskopin, koska prosessissa käytetään röntgenlaitteen putkipäätä. Suuntauskopit vievät muihin työpisteisiin nähden enemmän tilaa. Suuntauskoppeja tarvitaan myös suurempi määrä kuin muita työpisteitä, koska suuntaus on aikaa vievin työvaihe. Työpisteiden määrästä huolimatta suuntaus on tuotantoa rajoittava työvaihe.

Kefalostaatin suuntaus vie huomattavan osan suuntausajasta, varsinkin yksinkertaisimpien ProMax mallien kohdalla. Tämän vuoksi kefalostaattien suuntaaminen erillään ortopantomografeista ja ilman säteilyä tehostaisi tuotantoa.

4 Erillissuuntauksen tavoitteet

Työssä tavoitteena on kehittää nykyistä suuntausmenetelmää tehokkaampi tapa suunnata kefalostaatteja. Tähän pyritään sillä, että kefalostaatit voidaan suunnata erillisinä ortopantomografeista ja suuntaus voidaan suorittaa ilman säteilyn käyttöä. Tähän pyritään muuttamalla suuntausmenetelmiä ja tekemällä mahdollisesti muutoksia ProMaxin osiin tai suuntaustyökaluihin. Suuntausmenetelmän kehittäessä pyritään seuraaviin **pääta-**
voitteisiin:

- Kefalostaatti voidaan suunnata erillään muusta laitteesta.
- Suuntausaika pysyy järkevänä.
- Kefalostaatti on yhteensopiva kaikkien ProMaxien kanssa.
- Suuntauksen laatu pysyy riittävänä.

Erillisellä suuntauksella pyritään vähentämään röntgenlaitteiden suuntauksen kuormitusta. Jos kefalostaatti voitaisiin suunnata erikseen yhdessä suuntauspisteessä, omalla tuotantolinjallaan, varsinaisten röntgenlaitteiden suuntausaika lyhenisi kefalostaatin suuntausajan verran. Tämä lisäisi myös tuotannon joustavuutta, koska kefalostaatteja voitaisiin tuottaa panoraamalaitteista riippumatta.

Suuntausaikaa arvioitaessa verrataan vanhalla menetelmällä suunnatun kefalostaatillisen ProMaxin suuntausaikaa ja uudella menetelmällä erikseen suunnattujen kefalostaatin ja ProMaxin suuntausaikaa. Tavoitteena on pyrkiä vähintään nykyisen menetelmän suuntausaikaan, joka on kefalostaatille noin 30 minuuttia. ProMax-ortopantomografien suuntausajat vaihtelevat tunneista kymmeneen tuntiin konetyypistä riippuen. Pieni suuntausajan pidentyminen voidaan sallia, koska uudella menetelmällä ne olisi jaettu kahden eri tuotantolinjaan ja mahdollisuus tuottaa kefalostaatteja varastoon lyhentäisi tuotteiden läpimenoaikaa tästä huolimatta.

Kefalostaatin yhteensopivuudella tarkoitetaan sitä, että minkä tahansa kefalostaattimoduulin voi asentaa mihin tahansa ProMax panoraamalaitteeseen. Tällöin jokainen kefalostaatti ja ortopantomografi tulisi suunnata niin, että ne ovat yksilöinä keskenään

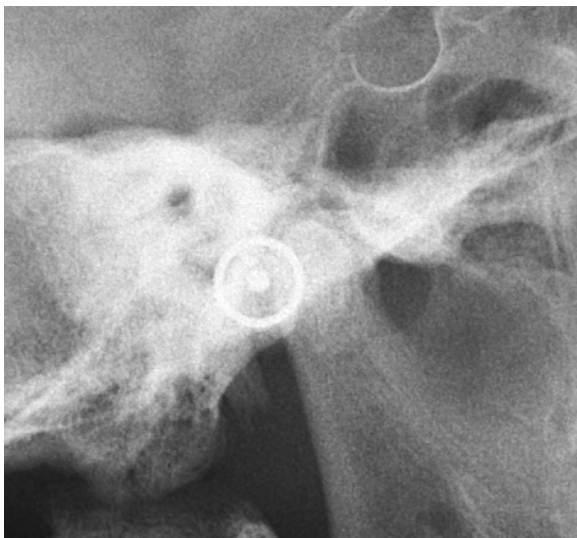
yhteensopivia. Tämä on tärkeä ominaisuus, jotta uudesta suuntausmenetelmästä olisi merkittävästi hyötyä.

Kefalostaatin suuntauksen laadun määrittää *beam check* -kuva (kuva 1) sekä korvatukien linjan kohtisuoruus kuvatasoon nähden. Kefalostaatin *beam check* -kuvasta nähdään sensorin ylä- ja ala-antureihin osuvan röntgensädekeilan suoruuden ja sijainnin kuvakennoihin nähden. Kolme erillistä palkkia kuvaa sädekuviota kefalostaattisensorin ja kaihtimen ollessa kahdessa ääriasennossa ja keskellä. Sädekeilojen tulee olla mahdollisimman suorassa ja keskellä anturia, jotta kuvanlaadusta tulee hyvä.



Kuva 1. Kefalostaatin *beam check* -kuva Device Tool -ohjelman versiossa 1.1.0.0 r

Kefalostaatin korvatukien tulee olla kohdakkain kuvatasoon nähden, jotta potilasta asettaessa pää asettuu oikeaan asentoon. Korvatukien asento toisiinsa nähden tarkistetaan lateraalista, eli sivuttaisesta, kefalokuvasta (ks. kuva 2, seur. s.), jossa vasemman korvan korvatukea kuvaa kuula (kuvassa vaalea ympyrä) ja oikean korvan korvatukea rengas (kuvassa vaalea rengas). Jos vaalea ympyrä ei ole renkaan sisällä kuvassa, kefalostaatin pöydän suuntaus putkipäähän nähden on väärä.



Kuva 2. Korvatukien muodostama varjo korvakäytävän ja leukanivelen välissä

Näiden laatukriteereiden tulisi täyttyä, kun erillisenä suunnattu kefalostaatti asennetaan ProMax-laitteeseen, jotta laitteen asentajan työmäärä ei lisääntyisi. Nykyään jälkiasennuksena toimitetut, esisuunnatut kefalostaatit vaativat uudelleen suuntauksen, mikä on hankalaa, jos asentajalla ei ole kokemusta kefalostaattien suuntaamisesta. ProMaxien mukana toimitettuja kefalostaatteja asennettaessa riittää vain laadun tarkistaminen, mihin asiakkaat ovat tyytyväisiä. Tähän tulee myös pyrkiä uutta suuntausmenetelmää suunnitellessa. [5.]

5 ProMax-mallien valinta tutkimukseen

Planmecalla on tuotannossa runsaasti erilaisia ProMax-malleja, jotka poikkeavat suuntauksen näkökulmasta toisistaan mittasuhteiltaan ja muilta ominaisuuksiltaan. Työssä vaadittavien tutkimusten suorittaminen ja suuntausmenetelmien kehittäminen kaikille konemalleille olisi liian työlästä, joten työssä käsitellään ainoastaan kiinteällä putkipäällä varustettuja ProMaxeja. Näihin kuuluu sekä SCARA2-varsistollisia että SCARA3-varsistollisia ProMaxeja. Näitä koneita on helposti saatavilla tuotannosta tutkimukseen ja niiden suuntaaminen on suhteellisen nopeaa.

Lopputyön kirjoittamisen aikana Planmeca julkisti uuden lyhyen valotusajan Planmeca ProCeph -kefalostaatin, jota ei käsitellä työssä lainkaan. Kaikki työssä kuvaillut ja suunnitellut suuntausmenetelmät koskevat Planmecan skannaavaa ProMax-kefalostaattia.

Kefalostaattien suuntauksessa on suuri ero eri varsistomallien välillä. Jos tutkimuksessa otetaan huomioon molemmat varsistomallit, kehitettyä suuntausmenetelmää voidaan soveltaa melkein kaikkiin ProMax-malleihin. Tämä sulkee pois ainoastaan kääntyvällä putkipäällä varustetut mallit, joiden suuntaamiseen uutta menetelmää voidaan oletettavasti kuitenkin pienin muutoksin soveltaa.

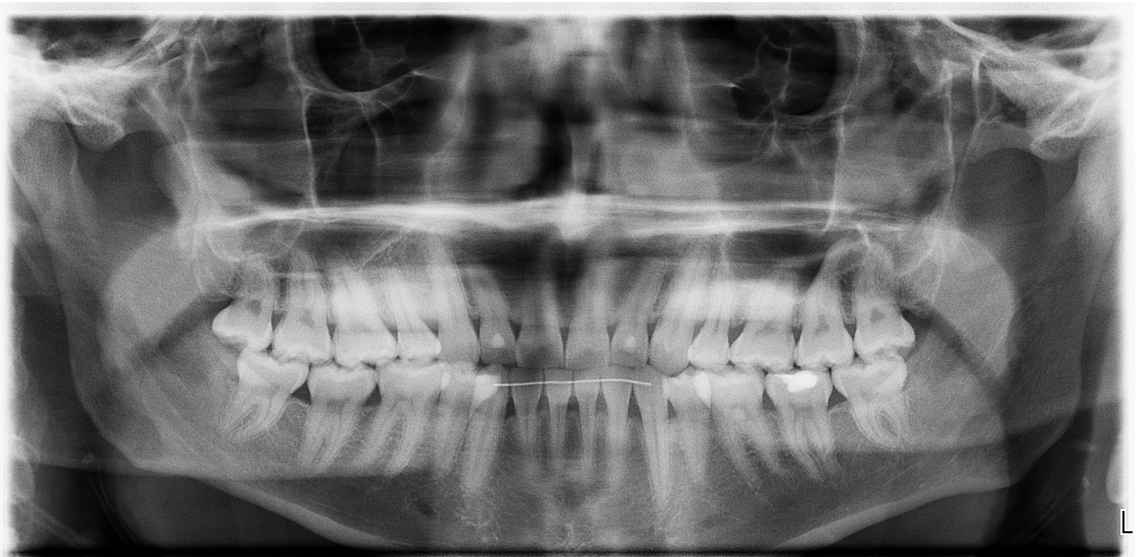
Erillissuuntausta suunniteltaessa tulisi erityisesti ottaa huomioon SCARA2-varsiston tarpeet. SCARA2-varsistolla varustetuista laitteista puuttuu olkanivel, minkä vuoksi panoraamapuolen olkavarsi on kefalokuvaustilassa suuntauksen kannalta hankalassa asennossa rajoittuneemman liikeradan vuoksi. SCARA2-varsistolla varustetun ProMaxin putkipää on kefalostaattiin nähden potilastuen takana, mikä rajoittaa merkittävästi aluetta, jolla kefalostaatin korkeutta voi säätää. Tätä ongelmaa ei ole kolminivelistä SCARA3-varsistolla varustettua konetta suunnatessa, koska liikkuva olkavarsi mahdollistaa röntgenputken siirtämisen pois potilastuen takaa kefalokuvaustilaan siirryttäessä. Tämä on merkittävin kefalostaatin suuntaukseen vaikuttava ero erilaisten konetyyppien välillä, joten uuden suuntausmenetelmän tulisi ottaa huomioon tämä SCARA2-varsiston erityistarve.

Työssä pyritään kehittämään siis erillissuuntausmenetelmä ProMax S2- ja ProMax S3-koneita tutkimalla. Menetelmä kuitenkin suunnitellaan joustavaksi kääntyvällä putkipäällä varustettuja koneita silmällä pitäen. Kehityksessä otetaan erityisesti huomioon SCARA2-koneiden erityistarve kefalostaatin korkeuden suhteen.

6 ProMaxiin ja sen suuntaamiseen liittyvä teoria

6.1 Ortopantomografi ja panoraamakuvantaminen

Ortopantomografi eli OPG on ekstraoraaliseen eli suun ulkopuoliseen röntgenkuvantamiseen tarkoitettu laite. Ortopantomografia perustuu tomografiaan, jossa koko säteilylähteen ja vastaanottimen väliin jäävästä tilavuudesta röntgenkuvaan piirtyy terävästi vain määrätty ohut viipale ja muut rakenteet tämän tason ulkopuolella jäävät sumeaksi. Laite tuottaa kuvattavasta potilaasta panoraamakuvan, jossa näkyy yhteen tasoon levitettyä kohtisuorasti kaikki hampaat, leukanivelet ja kasvojen ontelot. Kuvassa on 3 esimerkkinä Planmeca Proline XC -ortopantomografilla otettu panoraamakuva potilaan päästä.



Kuva 3. Panoraamaröntgenkuva potilaan päästä

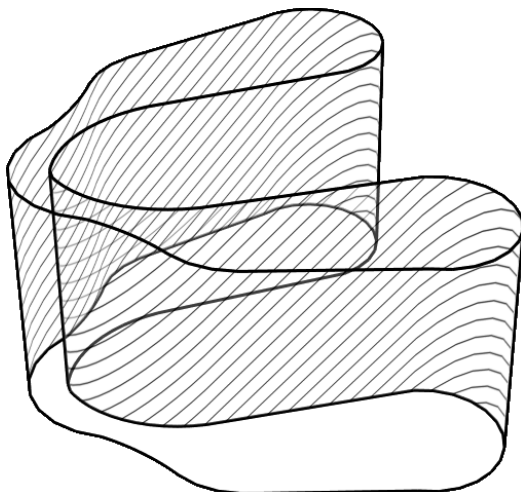
Hampaiden panoraamakuvia käytetään hammaslääketieteessä muun muassa: hampaiden puhkeamisen, kasvun ja kehityksen arvioimiseen; leukojen sairauksien, vaurioiden ja yleistilan tarkastamiseen sekä hampaiden ja leuan alueen traumojen kartoittamiseen.

Ensimmäisen panoraamaröntgenkuvan otti japanilainen tohtori Hisatugu Numata vuonna 1933. Kuvaa ei kuitenkaan otettu nykyisenlaisella ekstraoraalisella menetelmällä, vaan röntgenfilmi asetettiin kielen avulla hampaita vasten suun sisälle. Nykyisen panoraamaröntgenkuvauksen kehittäjä on suomalainen professori Yrjö Paatero. Hän

kehitti panoraamakuvaukseen soveltuvaa laitetta vuodesta 1949 vuoteen 1961, ja ensimmäinen ortopantomografi valmistui 1957. [7, s. 6; 9, s. 48.]

Ortopantomografin putkipää ja vastaanotin kiertävät potilaan päätä leuan muotoja myötäilevää liikerataa pitkin, niin että vastaanotin kulkee pään edessä ja putkipää sen takana. Vastaanotin voi olla joko digitaalinen sensori tai filmikasetti. Vaikka Planmegan röntgenosaston tilauskantojen perusteella digitaaliset sensorit ovat nykyään selvästi kysytyimpiä, filmiä käytetään edelleen kuvantamisessa muun muassa sen takia, että ne soveltuvat paremmin vaikeisiin olosuhteisiin, joissa kestävyys ja helppo huollettavuus ovat etusijalla. Putkipään röntgenputkesta säteily lähtee hieman yläviistoon potilaan päätä kohden. Säteily rajataan putkipäässä olevalla kollimaattorilla kapeaksi viuhkaksi.

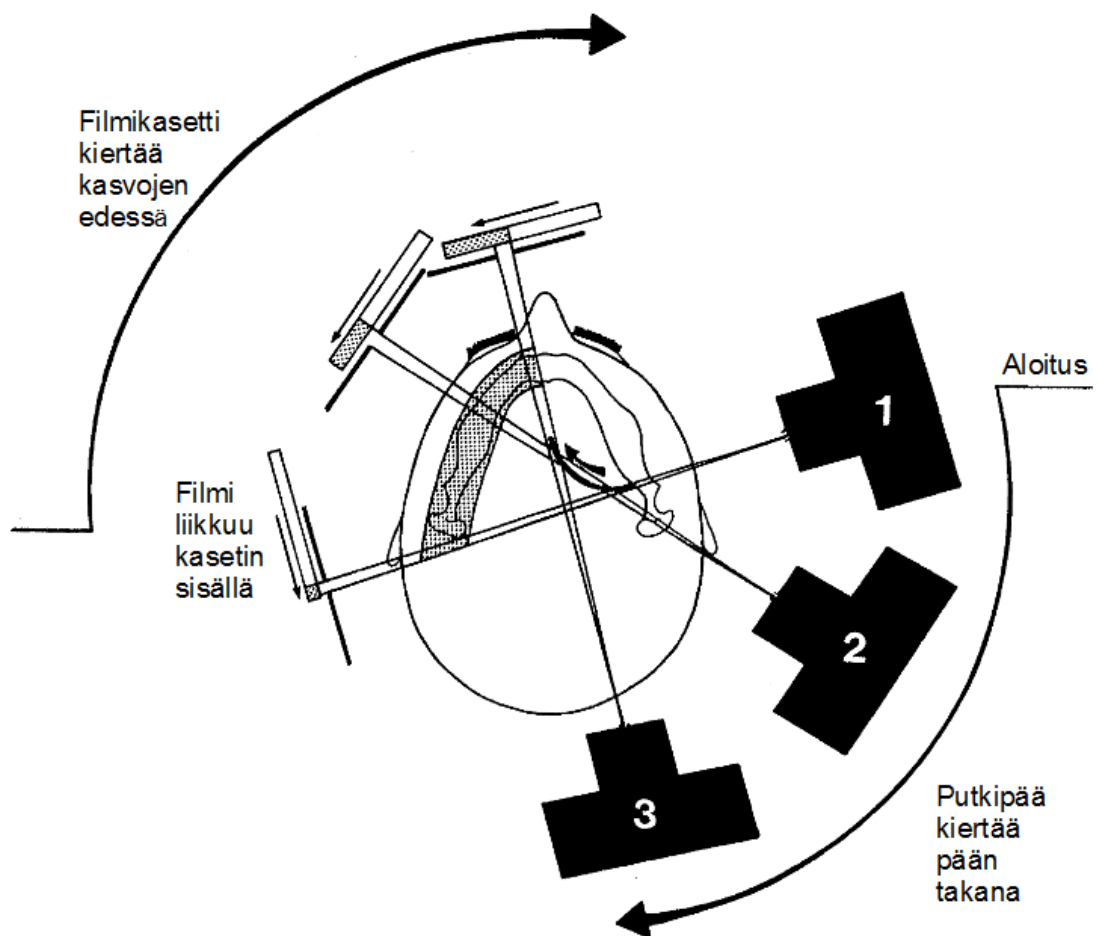
Kuvattaessa potilas asetetaan ortopantomografin potilasasettelumekanismiin. Asettelumekanismin avulla potilaan pää asetetaan oikeaan asentoon, ja tällöin asettelumekanismi tukee sitä kuvauksen ajan. Potilaan oikea asettelu on tärkeää, jotta kuvattava alue, eli leuan kaari, on fokusalueella (englanniksi *focal trough* tai *image layer*). Aluetta voidaan myös kutsua englanninkielisellä termillä *focal corridor* (suomeksi fokaalinen käytävä), joka kuvaa käsitettä hyvin, koska röntgenkuvaan tarkkana piirtyvät rakenteet ovat kaksikulotteinen projektio kaarevan kolmiulotteisen alueen sisällöstä. Kuvassa 4 on kaavakuva eräänlaisen ortopantomografin fokusalueesta:



Kuva 4. OPG:n fokusaluetta havainnollistava kaavakuva

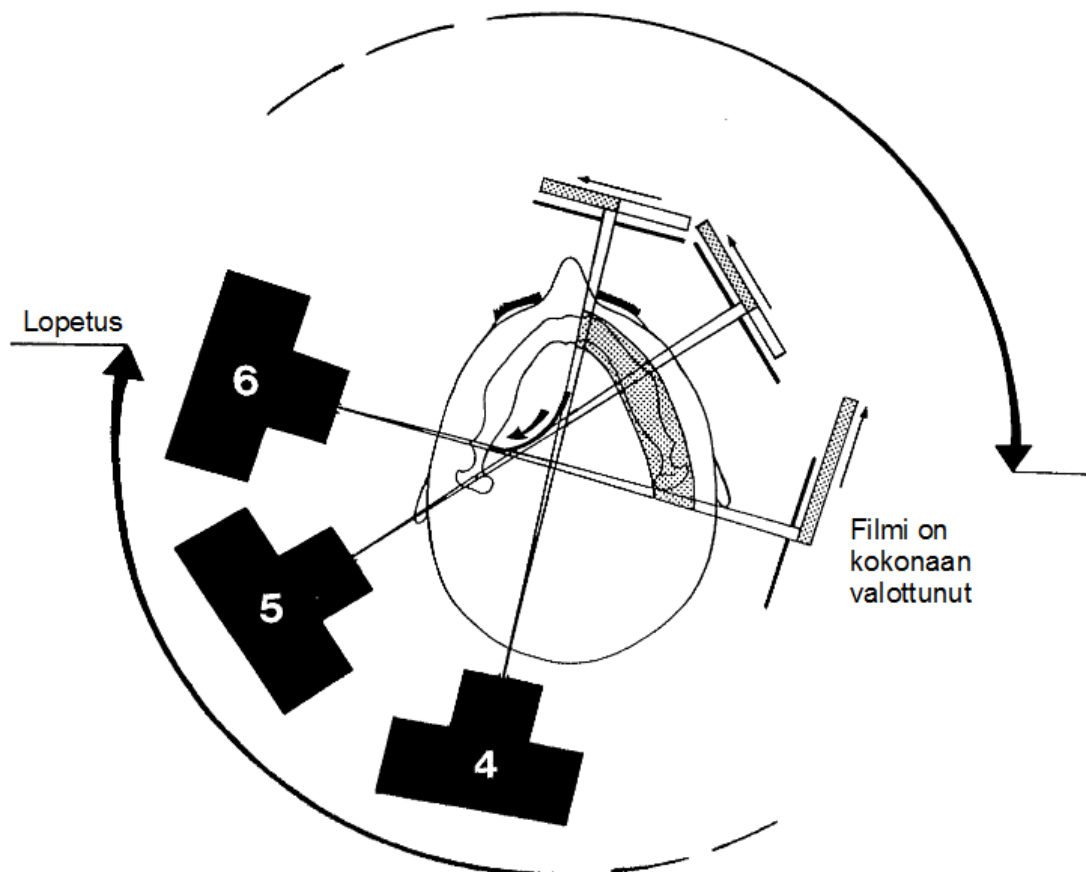
Fokusalue on tärkein ortopantomografin ominaisuus, joka vaikuttaa panoraamaröntgenkuvan laatuun. Fokusalue sijaitsee putkipään pyörähdyskeskipisteen ja vastaanottimen välissä. Sen sijaintiin vaikuttaa filmilaitteissa filmikasetin liikkumisnopeus ja digitaalisissa laitteissa vastaava digitaalinen prosessi. Röntgenkuvaan piirtyy alue, joka filmiin nähden pysyy paikoillaan kuvantavien osien kiertäessä sitä. Jos potilaan leukalinja ei kulje fokusalueen keskellä tai on kokonaan sen ulkopuolella, kuvaan syntyy vääristymiä tai epätarkkoja alueita. Kuvassa 5 ja 6 (ks. seur. s.) havainnollistetaan liikkuvalla pyörähdyskeskipisteellä filmille kuvaavan ortopantomografin toiminta kuvaustilanteessa.

Kuvassa 5 esitetään valotuksen ensimmäinen puolisko. Kuvauksen alussa filmikasetti on pään vasemmalla puolella ja putkipää on oikealla puolella. Filmi liikkuu kuvauksen ajan vasemmalle ja putkipää–vastaanotin-pari pyörii myötäpäivään. Pyörähdyskeskipiste liikkuu leukakaaren sisään nuolella merkityn kaaren mukaisesti.



Kuva 5. Potilaan leuan vasemman puolen valottaminen ortopantomografilla [8, s. 166]

Kuvassa 6 esitetään valotuksen jälkimmäinen puolisko. Filmikasetti ohittaa kuvattavan kohteen kasvat ja siirtyy lopulta pään oikealle puolelle. Vastaavasti putkipää kiertää kuvattavan takaraivon ohi pään vasemmalle puolelle. Filmi jatkaa liikettään vasemmalle kunnes se on kokonaan valottunut. Pyörähdyskeskipiste liikkuu leuan keskeltä vasemmalle puolelle kuvaan merkityn kaaren mukaisesti.



Kuva 6. Potilaan leuan oikean puolen valottaminen ortopantomografilla [8, s. 167]

Fokusalueet voivat olla erimuotoisia panoraamakuvauslaitteen mallista ja yksittäisen laitteen asetuksista riippuen. Seuraavat tekijät vaikuttavat fokusalueen muotoon ja koon:

- röntgensäteiden korkeus
- pyörähdyskeskipisteen sijainti
- filmikasetin nopeus
- pyörähdyskeskipisteen liike.

Kollimaattorin rajaama viuhkamaisen röntgensäteen korkeus määrittää fokusalueen korkeuden. Tämän korkeuden määrittää filmin tai sensorin korkeus niin, että fokusalueen projektio on sopivan korkuinen kuva-alueelle.

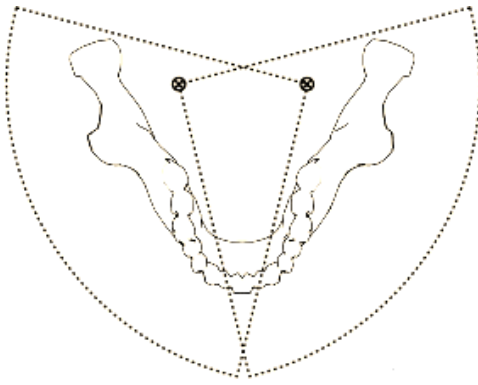
Putkipään ja vastaanottimen pyörähdyskeskipisteen etäisyys kuvattavasta kohteesta eli hammaskaaresta määrittää fokusalueen paksuuden eli fokaalisen käytävän leveyden. Mitä kauempana pyörähdyskeskipiste on kuvattavasta kohteesta, sitä paksumpi on fokusalue.

Filmilaitteissa filmi liikkuu vastakkaiseen suuntaan kuin vastaanotin kiertää potilaan päätä. Jos filmi ei liikkuisi vastaanottimen sisällä lainkaan, fokusalue sijaitisi kuvantavan laitteiston pyörähdyskeskipisteessä. Jos filmi liikkuisi samalla nopeudella, kuin vastaanotin kiertää kuvattavaa kohdetta, fokusalue sijaitisi filmin pinnassa. Mitä nopeampaa filmi siis liikkuu, sitä laajempi on fokusalueen kaari.

Koska ihmisen leuka ei ole ympyränkaaren muotoinen, ortopantomografin kuvantavat osat eivät voi kulkea ympyränkaarta vain yhden pyörähdyskeskipisteen ympäri. Jotta fokusalue myötäilisi mahdollisimman hyvin leuan muotoja, ortopantomografeissa käytetään useita pyörähdyskeskipisteitä, joiden lukumäärä vaihtelee. Näistä yleisimmät ortopantomografityypit ovat

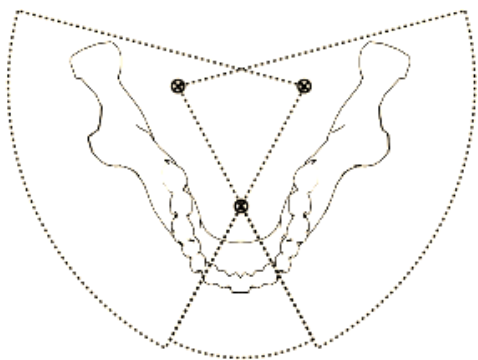
- kaksoispyörähdyskeskipisteiset
- kolmoispyörähdyskeskipisteiset
- liikkuva pyörähdyskeskipisteiset.

Kaksoispyörähdyskeskipisteisissä ortopantomografeissa on nimensä mukaisesti kaksi pyörähdyskeskipistettä ja kuvausalue muodostuu kahdesta sektorista. Kuvauksen sektoreita katkoviivoin rajatulla alueella ja kahta pyörähdyskeskipistettä havainnollistava kaavakuva esitetään kuvassa 7 (ks. seur. s.). Menetelmässä röntgenlaite tekee kaksi erillistä valotusta, joiden välillä laitteisto vaihtaa pyörähdyskeskipistettä. Tämä tuottaa kaksoisaisen röntgenkuvan (*split-mode*-kuva). Menetelmä on vanha, eikä sitä käytetä uudemmissa koneissa.



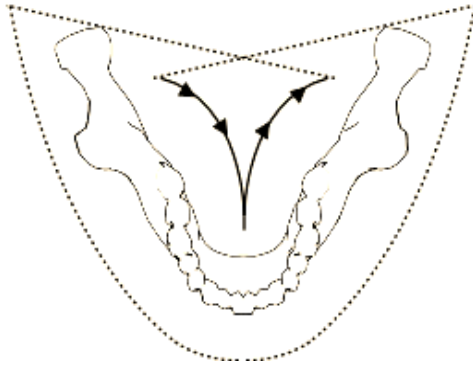
Kuva 7. Kaavakuva kaksoispyörähdyskeskipisteisestä kuvantamisesta

Kolmoispyörähdyskeskipisteisessä ortopantomografissa kuvauslaitteisto pyörähtää kolmen pyörähdyskeskipisteen ympäri. Kuvauksen sektoreita katkoviivoin rajatulla alueella ja kolmea pyörähdyskeskipistettä havainnollistava kaavakuva esitetään kuvassa 8. Menetelmä tuottaa kolmesta erillisestä kuvaussektorista jatkuvan röntgenkuvan (*continuous-mode*-kuva).



Kuva 8. Kaavakuva kolmoispyörähdyskeskipisteisestä kuvantamisesta

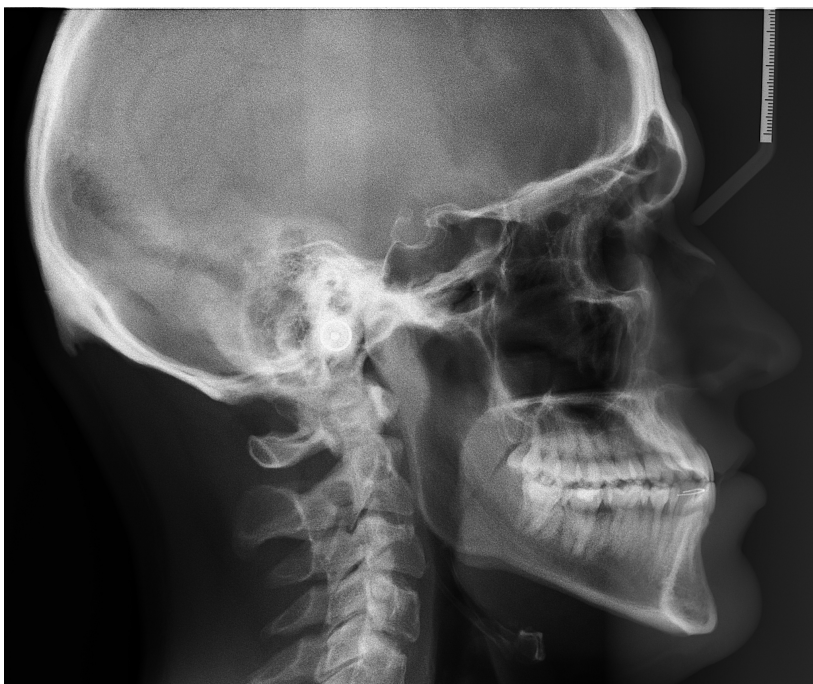
Liikkuva pyörähdyskeskipisteisessä ortopantomografissa kuvantamislaitteiston pyörähdyskeskipiste liikkuu samanaikaisesti laitteiston kiertäessä päätä. Liikkuvan pyörähdyskeskipisteen kulkureittiä havainnollistaa nuolin merkitty viiva kuvassa 9 (ks. seur. s.). Tämä on kuvaustekniikoista nykyaikaisin. Menetelmä tuottaa jatkuvan kuvan, mutta kuvausgeometria, eli kuvantavien osien kuvauksen aikana kulkeman reitin muoto, myötäilee paremmin leuan muotoja kuin kolmella pyörähdyskeskipisteellä kuvattaessa. Eri tyyppisten kuvausmenetelmien erilaiset kuvausgeometriat tuottavat eri muotoisia fokusalueita. Esimerkkinä kuvan 4 (ks. s. 9) muotoinen fokusalue on liikkuva pyörähdyskeskipisteisissä ortopantomografeissa. [6, s. 341–349; 7, s. 256–260; 8, s. 161–167.]



Kuva 9. Kaavakuva liikkuva pyörähdyskeskipisteisestä kuvantamisesta

6.2 Kefalostaatti ja kefalometria

Kefalometrian harjoittamisen alkuaikoina sillä tarkoitettiin elävän henkilön kallon mittaamista palpoimalla eli tunnustelemalla pehmytkudoksien läpi. Vuonna 1895 röntgensäteiden löytyminen ja siitä johdetut keksinnöt mullistivat kefalometriaa. Myöhemmin kehitys johti nykyiseen kefalometriaan, jossa pään mittaaminen tapahtuu röntgenkuvista (röntgenografinen kefalometria). Modernissa kefalometriassa kalloa mitataan tiettyjen kallon rakenteisiin perustuvien kiintopisteiden etäisyyksien ja niiden välisien kulmien avulla. Kuvassa 10 on Planmeca Proline XC:n kefalostaatilla otettu lateraalinen kefalokuva potilaan päästä.



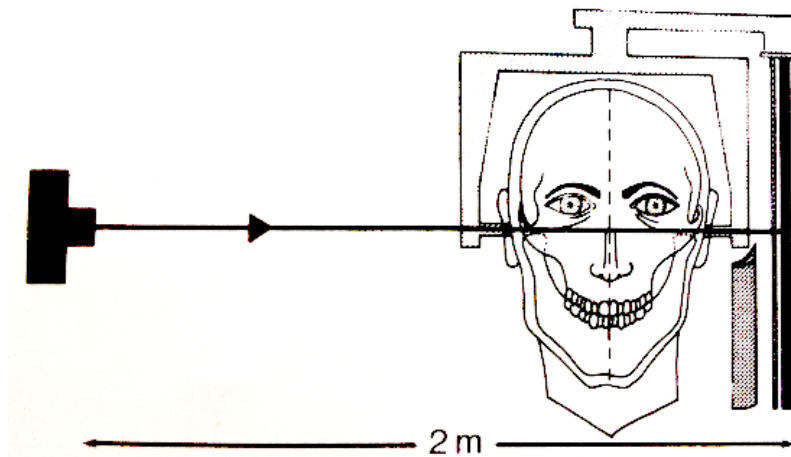
Kuva 10. Lateraalinen kefalokuva potilaan päästä

Röntgenografinen kefalometria vaati keinon asettaa potilaan pää standardoituun asentoon jokaisella kuvauskerralla, jotta mittauksissa voidaan ottaa huomioon kuvan suurenos ja vääristymät. Tätä varten kehitettiin vuonna 1931 esitelty kefalostaatti (myös kranioastaatti ja kefalometri). Sen esittelivät samanaikaisesti Broadbent Yhdysvalloissa ja Hofrath Saksassa. Kefalometrinen kuvantaminen on ekstraoraalista kuvantamista eli kuvatessa filmi on suun ulkopuolella. [8, s. 274–275; 10, s. 9; 11, s. 104.]

Osassa lähdeaineistossa kefalostaatin avulla suoritettua kuvausta kutsutaan ekstraoraaliseksi kuvantamiseksi ja osassa siitä puhutaan kefalometrisenä kuvantamisena. Kumpikaan ei yksiselitteisesti kuvaa kefalostaatin avulla suoritettua pään kuvantamista. Ekstraoraalinen kuvantaminen tarkoittaa yleisesti suun ulkopuolista kuvantamista, ja sillä voidaan viitata myös panoraamakuvantamiseen. Kefalometrinen kuvantaminen terminä ottaa kantaa siihen, mitä röntgenkuvalla tehdään. Tämä tarkoittaa sitä, että kefalostaatin avulla otettu kuva ei tarkkaan ottaen ole kefalometrinen kuva, jos sitä ei käytetä kefalometriin mittauksiin.

Kefalometriaa sovelletaan pääasiassa ortodontiaan ja ortognatiaan, eli hampaiden ja leukojen oikomishoitoon. Kefalometrisiä röntgenkuvia käytetään hoidoissa virheiden diagnosointiin, hoidon suunnitteluun, sen seurantaan ja lopputuloksen arvioimiseen.

Kefalometrisessä kuvantamisessa voidaan kuvata päätä monenlaisilla projektioilla asettamalla potilaan pää erilaisiin asentoihin kefalostaatin avulla. Kahtena oleellisimpana kefalometrisenä projektiona voidaan pitää lateraalista projektiota (englanniksi *true cephalometric lateral skull*) ja PA-projektiota (englanniksi *cephalometric postero-anterior of the jaws* eli *PA jaws*). Lateraaliossa kallokuvassa potilas asetetaan sivuttain putkipään nähdessä kuvan 11 (ks. seur. s.) mukaisesti. Postero-anteorisessa projektiossa potilas asetetaan kefalostaattiin kasvot kohti vastaanotinta ja päätä kallistetaan niin, että silmien ja korvien välinen linja asettuu lattian suuntaiseksi.



Kuva 11. Kaavakuva kefalometrisestä laitteistosta kuvatessa lateraalista projektiota [8, s. 147]

Kefalometrisiä laitteistoja on kokoonpanoltaan ja rakenteeltaan monenlaisia. Kuitenkin kefalometriseen kuvantamiseen tarvitaan aina röntgenlaite, vastaanotin ja kefalostaatti. Röntgensäteilyn lähteenä voi toimia vastaanoton muut röntgenlaitteet, esimerkiksi intraoraaliröntgenlaite tai kefalometriseen kuvantamiseen soveltuva ortopantomografi. On myös olemassa erityisesti kefalometriseen kuvantamiseen tarkoitettuja laitteistoja.

Kefalostaatti on laite, jolla potilas asetetaan standardoituun asentoon kefalometristä kuvantamista varten ja pidetään se paikallaan kuvauksen ajan. Se koostuu vastaanottimelle tarkoitettusta telineestä ja potilasasettimista. Kefalostaatissa on aina kuvausalueen keskelle asetetut korvatuet, jotka asetetaan potilaan korva-aukkoihin. Joissain malleissa voi olla myös nenän juureen asetettava nenätuki ja silmien alaosa tukevat infraorbitaalituet.

Kefalometrisessä röntgenlaitteistossa vastaanotin on useimmiten kiinni kefalostaatissa olevassa telineessä. Kuvan 11 kefalometrisestä laitteistossa on vasemmassa laidassa röntgenputki, potilaan pään ympärillä kefalostaatti ja oikeassa laidassa vastaanotin. [7, s. 275–276.]

Koska lähdemateriaali on julkaistu ennen digitaalisen sensorien yleistymistä, puhutaan niissä yksinomaan filmille kuvantavista laitteista. Kuvan vastaanotin onkin ainut asia, joka on muuttunut kefalostaateissa merkittävästi. Filmille kuvantavia laitteita valmistetaan vielä nykyäänkin, mutta Planmecan tilauskantojen perusteella niitä voidaan nykyään pitää selvästi harvinaisempia.

Filmille kuvannettaessa potilaan pään taakse asetetaan halutun röntgenkuvan kokoinen filmikasetti, johon kohdistetaan kuvannettavan alueen kokoinen röntgensäteilykeila, jolloin pään rakenteet valottuvat filmille. Kefalometrisessä kuvantamisessa putkipään ja kuvan vastaanottimen etäisyys on Whaitesin [8, s. 147] mukaan noin 2 m ja Athanasion [10, s. 14] mukaan yleensä 152,4 cm (5 ft). Potilaan pää asetetaan kefalostaatilla mahdollisimman lähelle vastaanotinta, näin kuvatasolle piirtyvän projektion suurennos ja vääristymät ovat mahdollisimman pieniä.

Koko pään alueen kattavalla valotuksella voidaan kuvata myös digitaaliselle sensorille ja uudemmissa digitaalisissa sovelluksissa menetelmää käytetäänkin, (esim. Planmeca ProCeph). Kuitenkin vanhemmilla digitaalisilla sensoreilla varustetut kefalostaatit, kuten tavallinen ProMax kefalostaatti, käyttävät skannaavaa kuvausta. [12.]

Skannaavassa kuvauksessa kefalostaatille saapuva säteily kollimoidaan kapeaksi keilaksi kuten ortopantomografeissa. Keila skannaa koko kuva-alueen pyyhkäisemällä, millä saadaan kapeallakin sensorilla koko potilaan pää kuvattua. Skannaavan kuvauksen haittana on kuitenkin pitkä valotusaika ja potilaan liikkumisesta kuvauksen aikana aiheutuvat kuvavirheet. Skannaavien digitaalisten kefalostaattien etuna ovat merkittävästi halvemmat sensorit Planmeca ProCephin kaltaisten kefalostaattien sensoreihin verrattuna.

Kefalometrisien röntgenkuvien kuvanlaatua voi heikentää väärä potilasasettelu ja virheelliset laiteasetukset. Kuvien laatua arvioidaan niiden visuaalisten ja geometristen ominaisuuksien perusteella. Visuaalisiin ominaisuuksiin luetaan tiheys ja kontrasti. Kuvan tiheys voidaan käsittää kuvan tummuutena tai kirkkautena. Jos kuvan tiheys on suuri, kuva on tumma. Mitä tummempi alue on röntgenkuvassa, sitä enemmän kyseiseen kohtaan on osunut säteilyä. Kuvan tiheyteen vaikuttavat röntgenlaitteen kuvausarvot yhtälön 1 mukaisesti:

$$T = (U_p * I * t) * s, \quad (1)$$

jossa T on röntgenkuvan tiheys, U_p on röntgenputken jännitteen huippuarvo kilovoltteina, I on röntgenputken virta milliampeereina, t on valotusaika sekunteina ja s on säteilyn lähteen etäisyys vastaanotimesta senttimetreinä. Kuvausarvojen lisäksi kuvan

tiheyteen vaikuttaa filmikuvan kehityksessä kehitysliuoksen lämpötila ja kehitysaika. Digitaalisessa kuvantamisessa tiheyteen voidaan vaikuttaa digitaalisella jälkikäsittelyllä.

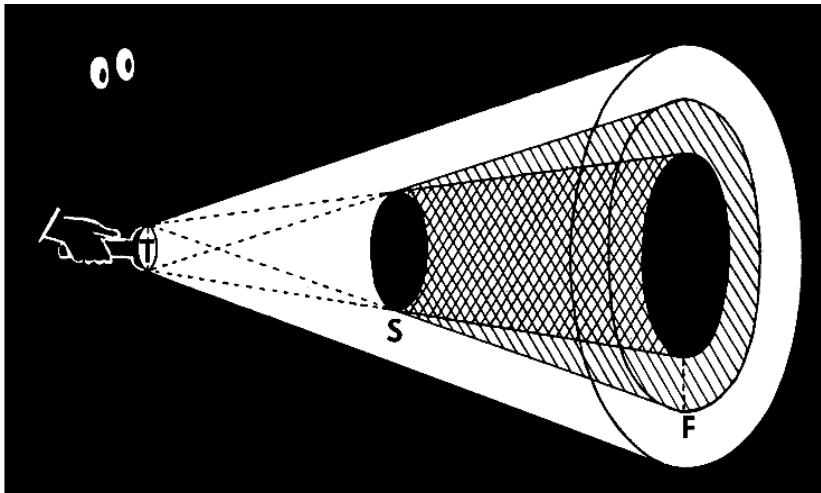
Kuvan kontrastilla tarkoitetaan kuvan sisäisten alueiden tiheyseroja. Korkeakontrastisessa kuvassa tummat alueet ovat tummempia ja vaaleat alueet vaaleampia kuin matala-kontrastisessa kuvassa. Kontrastiin vaikuttavat röntgenputken huippujännite, hajasäteily, kuvattavan kohteen kontrasti ja kuvan jälkikäsittely.

Huippujännite on merkittävin yksittäinen tekijä, joka vaikuttaa röntgenkuvan kontrastiin. Kuvauksen huippujännitettä nostettaessa kuvan kontrasti pienenee ja päinvastoin. Kontrastia pienentävää hajasäteilyä syntyy säteilyn sirotessa sen osuessa kuvattavaan kohteeseen. Kuvattavan kohteen kontrastilla tarkoitetaan kohteen ominaisuuksia ja rakennetta, jotka vaikuttavat siitä projisoituvan röntgenkuvan kontrastiin. Filmikuvan kontrastia voidaan suurentaa kehitysvaiheessa nostamalla kehitysliuoksen lämpötilaa.

Röntgenkuvan geometrisiksi ominaisuuksiksi luetaan kuvan terävyys, suurennos sekä vääristymät. Kuvan terävyydellä tarkoitetaan kuvan selkeäpiirteisyyttä ja yksityiskoh-
tien erottuvuutta. Röntgenkuvassa voi esiintyä kolmea erilaista epäterävyyttä: geomet-
ristä, liikkeestä aiheutuvaa ja kuvan vastaanottimesta johtuvaa.

Geometriseen tai optiseen epäterävyyteen vaikuttavat röntgenputken fokuksen koko, putken ja vastaanottimen etäisyys sekä kuvattavan kohteen ja vastaanottimen etäisyys. Jotta kuva olisi mahdollisimman tarkka, fokuksen koon lisäksi kuvattavan kohteen ja vastaanottimen välinen etäisyys tulisi olla mahdollisimman pieni, kun taas putkipään ja vastaanottimen välisen etäisyyden tulisi olla mahdollisimman suuri.

Kuva 12 (ks. seur s.) havainnollistaa geometristä epäterävyyttä taskulampun valossa esi-
neen aiheuttaman varjon avulla. Kuvassa kirjaimella T merkitty taskulamppu vastaa
röntgenputken fokusta, kirjaimella S merkitty esine vastaa kuvattavaa kohdetta ja kirjai-
mella F merkitty varjo vastaa kuvatasolle kuvantuvaa röntgenkuvaa. Taskulampun hei-
jastimen koosta johtuen kohteen varjo ei ole reunoilta terävä. Kuvassa viistoviivoin
merkittyä aluetta, jolle varjon epätarkka alue levittäytyy, kutsutaan penumbraksi.



Kuva 12. Geometristä epäterävyyttä havainnollistava kuva taskulampun luomasta varjosta [11, s. 106].

Liikkeestä aiheutuva epäterävyys aiheutuu valotuksen aikana tapahtuvasta kuvattavan kohteen tai kuvauslaitteiston liikkeestä. Vastaanottimen epäterävyys aiheutuu filmilaitteissa vahvistinlevyn ja emulsion ominaisuuksista ja digitaalisissa koneissa sensorin kuvakennon ominaisuuksista. [11, s. 105–106.]

Kuvan suurennoksella tarkoitetaan röntgenkuvan suhteellista kokoa kuvattavaan kohteeseen nähden. Kuvan suurennokseen vaikuttavat kuvausasettelun etäisyydet yhtälön 2 mukaisesti:

$$M = \left(\frac{f}{f-k} - 1 \right) * 100 \quad , \quad (2)$$

jossa M on suurennosprosentti, f on röntgenputken fokuksen ja vastaanottimen etäisyys senttimetreinä ja k on kuvattavan kohteen ja vastaanottimen etäisyys senttimetreinä. Valottunut kuva on M prosenttia suurempi kuin kuvattava kohde. Suurennoksen pitämiseksi suhteellisen pienenä, kefalostaateissa fokuksen ja vastaanottimen etäisyys on yleensä noin 200 cm. 280 cm:n jälkeen fokuksen ja vastaanottimen etäisyyden suurentaminen ei merkittävästi pienennä suurennosta. [8, s. 145–151.]

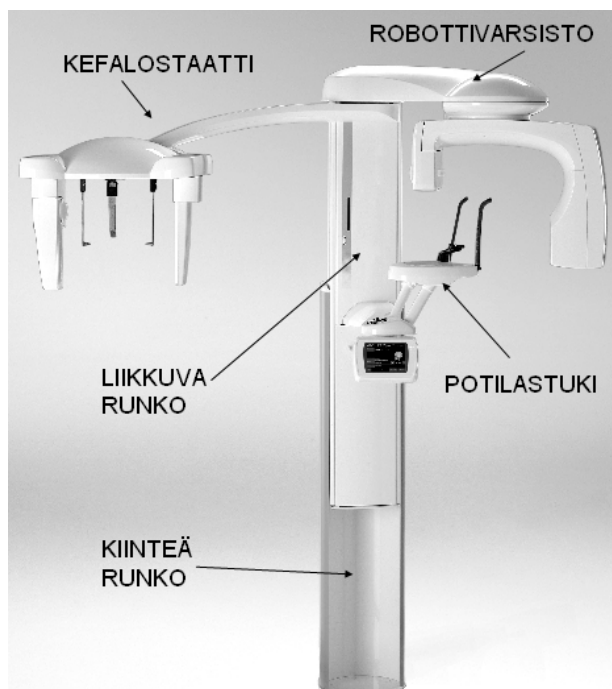
Koska kuvattavan kohteen eri alueiden etäisyydet vastaanottimeen nähden on erisuuruiset, suurennosprosentti ei ole vakio koko kohteelle, mikä saa aikaan kuvan vääristymiä. Vääristymät eli suurennoksen erot kuvan eri alueilla korostuvat röntgenputken fokuksen

ja vastaanottimen etäisyyden pienenytessä. Syvyysuunnassa kuvaan muodostuu vääristymiä, koska alueet ovat eri tasoilla toisiinsa nähden. Myös samoilla tasoilla pisteiden etäisyydet fokuksesta vaihtelevat, mikä aiheuttaa myös vääristymiä. Potilaan tarkka ja oikea asettelu on tärkeää, jotta vääristymät voidaan ottaa huomioon kefalometrisissä mittauksissa. [10, s. 14–17, 126–128.]

6.3 Planmeca ProMax ja sen rakenne suuntaajalle

ProMax on Planmecan valmistama ortopantomografimallisto. Mallistoon kuuluvat ProMax 2D S2, ProMax 2D S3, ProMax 3D s, ProMax 3D Classic, ProMax 3D Plus, ProMax 3D Mid ja ProMax 3D Max. Laitteet on suunniteltu pään alueen ja hampaiden kuvaukseen. ProMaxin kefalostaattimoduulin avulla voidaan kuvata myös kallon ja kämmenen luita. ProMaxille on saatavilla joko skannaava ProMax-kefalostaatti tai yhdellä valotuksella kuvaava ProCeph-kefalostaatti. [9; 13.]

ProMaxin rakenne voidaan jakaa seuraaviin osiin: laitteen runkoon, potilastuentaan, kefalostaattiin ja robottivarsistoon, joka kannattelee kuvantamiskomponentteja. Kuvassa 13 on kefalostaatilla varustettu ProMax 2D, johon on nimetty laitteen osat.



Kuva 13. Kefalostaatillinen ProMax 2D [14, muokattu]

ProMaxin teleskooppimallinen runko koostuu kiinteästä ja liikkuvasta rungosta. Liikkuvan rungon avulla koneen korkeutta voidaan säätää potilaalle sopivaksi. Se säädetään pystysuoraan asentoon siihen kiinnitettävien ja kiinteän rungon urissa liikkuvien säädettävien liukupalojen avulla. Liikkuvan rungon etupaneelissa on säädettävä Frankfort-laser, joka heijastaa vaakasuoran viivan potilaan pään sivulle. Laserin avulla potilaan pään kallistus asetetaan halutunlaiseksi.

Liikkuvasta rungosta kurottuu potilastukivarsi, jonka päässä on potilastuki. Potilastukeen kiinnitettävillä leukatuella ja ohimotuilla kuvattava asetetaan paikoilleen ja pidetään aloillaan. Potilastuen sijainnissa on säätövaraa lattiatason suuntaisesti jokaiseen suuntaan. Suuntauksessa potilastukea, referenssilevyä ja sensorin liitintä siirtämällä voidaan vaikuttaa kuvauskomponenttien pyörähdyskeskipisteen sijaintiin.

Potilastuessa sijaitsee potilaan asetteluun tarkoitetut *midsagittal*-laser ja *layer*-laser. *Midsagittal*-laser heijastaa pystysuoran säteen potilaan kasvojen keskelle. Sen avulla potilaan pää asetetaan keskelle kuvausaluetta ja pystysuoraan. *Layer*-laser heijastaa pystysuoran viivan potilaan pään sivulle, minkä avulla säädetään haluttu kuvaussyvyys.

Potilastukivarressa on myös kiinni kosketusnäytöllinen käyttöliittymä ja analogiset ohjauspainikkeet, joilla koneen toimintoja ohjataan. Kuvassa 14 on potilastukivarteen kiinnittyvät osat nimettynä.



Kuva 14. ProMaxin potilastuennan osat ja käyttöliittymä [14, muokattu]

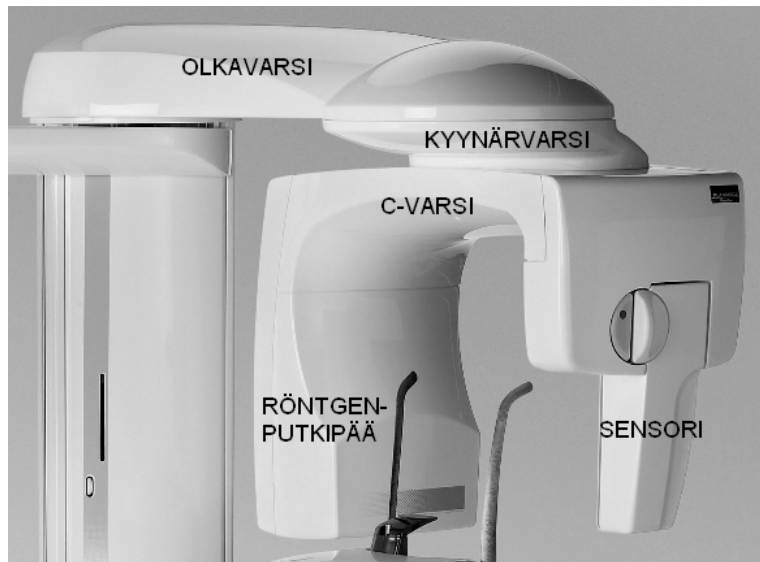
Liikkuvan rungon yläpäässä olkanivelen alapuolella on referenssilevy, jonka avulla määritetään olkavarren asento panoraamakuvauksessa. Levyssä ja olkavarressa olevien reikien läpi voidaan työntää sokka, joka lukitsee olkavarren referenssiasentoon. Kuvassa 15 on verhoilun kiinnitysosia (edessä) sekä referenssilevy ja sen kiristysruuvit (takana).



Kuva 15. ProMaxin referenssilevy

Liikkuvan rungon yläpäähän kiinnittyy SCARA (*Selectively Compliant Articulated Robot Arm*). Se on ohjelmisto-ohjattu robottivarsisto, joka mahdollistaa monipuolisen ja joustavan kuvantamisen. Varsisto koostuu kolmesta osasta: olkavarresta, kyynärvarresta ja C-varresta. Näissä osissa kussakin on samassa tasossa pyörivä nivel. Niveliä pyörittävät moottorit, joiden asentoa ProMax havainnoi kussakin nivelessä sijaitsevalla potentiometrillä.

ProMaxeja valmistetaan kaksinivelisillä (SCARA2) ja kolminivelisillä (SCARA3) robottivarsistoilla. SCARA2-varsisiston olkavarren ja liikkuvan rungon välinen olkanivel on kiinteä, mikä tekee tämän konetyypin kuvausominaisuuksista hieman SCARA3-laitteita rajoittuneempia. Robottivarsiston ansiosta käyttäjä voi valita panoraamakuvan fokusalueen muodon useista eri vaihtoehdoista vastaamaan potilaan leuan muotoa. Kuvassa 16 (ks. seur. s.) on ProMaxin putkipää ja sensori sekä robottivarsiston osat.



Kuva 16. Pro Maxin robottivarsisto, putkipää ja sensori [14, muokattu]

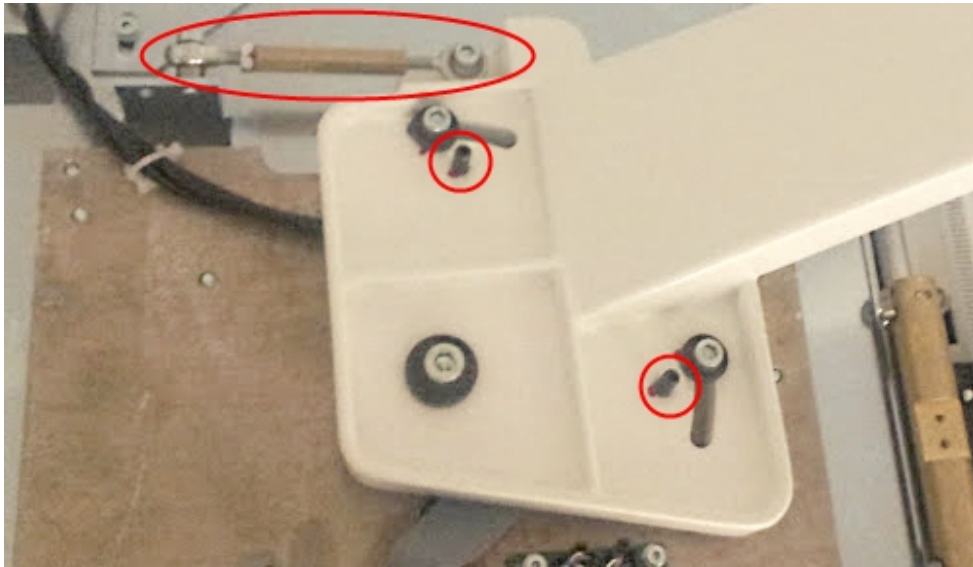
Robottivarsiston päässä C-varressa sijaitsee liitin sensorille, röntgengeneraattori ja röntgenputkipää. Putkipää koostuu öljyjäähdytteisestä kotelosta, jossa on sisällä röntgengeneraattorin tehoelektroniikka ja röntgenputki. Röntgenputken edessä putkipään kotelossa on esikaihdin ja primaarikollimaattori. Esikaihdin on kiinteällä aukolla varustettu lyijylevy. Primaarikollimaattori koostuu pysty- ja vaakasuuntaisesti liikkuvista kaihtimista, joita ProMaxin ohjelmisto ohjaa kuvaustilanteiden mukaisesti.

Liikkuvan rungon yläpäässä aivan referenssilevyn alapuolella on kefalostaatin kiinnityskohta. Kiinnityksessä on säätömahdollisuus kefalostaattivarren kallistukselle, jolla voidaan vaikuttaa kefalostaatin korkeuteen. Kefalostaatin korkeus säädetään kuvassa 17 näkyvällä mutterilla (vasen yläkulma), ja varsi kiristetään paikoilleen samassa kuvassa näkyvällä levyllä ja muttereilla (oikealla).



Kuva 17. Kefalostaatin kiinnitysosat

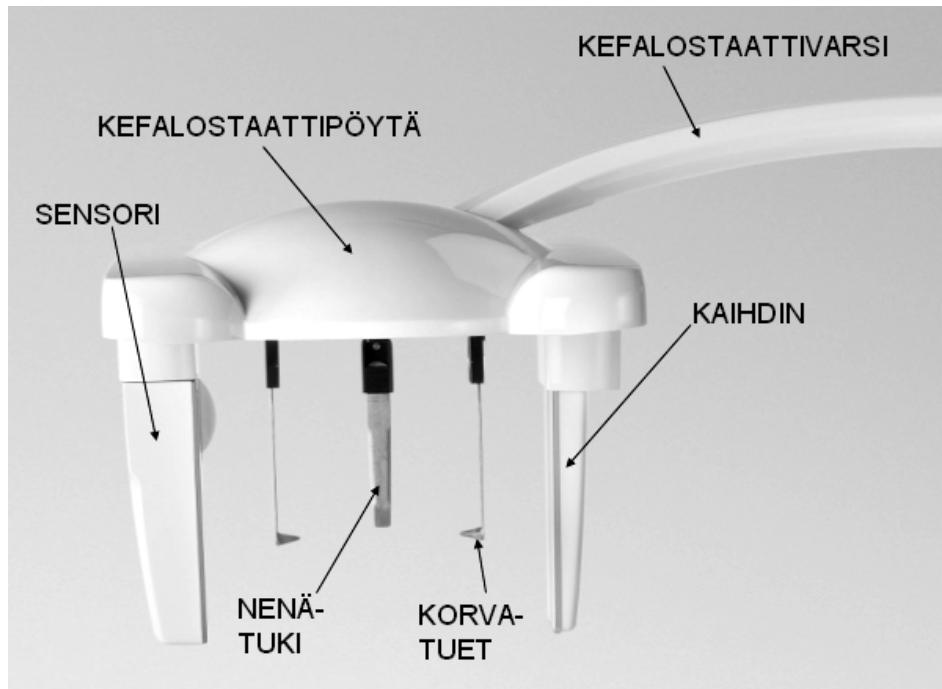
Kefalostaatin kiinnityskohdasta kurottuu sivulle kefalostaattivarsi, jonka päässä on kefalostaatti. Kefalostaattivarteen kiinnittyvää kefalostaatin osaa kutsutaan kefalostaattipöydäksi. Kefalostaatin suuntaamiseen käytettävät kaksi säätömutteria ja kierretanko sijaitsevat kefalostaattipöydän päällä. Kahdella säätömutterilla vaikutetaan kefalostaattipöydän kallistukseen. Pöytää voidaan kääntää kiertämällä kierretangon mutteria. Säätömutterit ja kierretanko on ympyröity punaisella kuvassa 18.



Kuva 18. Kefalostaattipöydän säätöosat

ProMax kefalostaatin pöydässä on kiskot, joita pitkin kefalostaatin sensori ja kaihdin kulkevat kuvauksen aikana. Kefalostaatin kaihtimessa on kaksi kapeaa päällekkäistä rakoja, jotka rajaavat kefalostaatille saapuvan säteilyn kahdeksi kapeaksi keilaksi. Vastavasti sensorissa on kaksi päällekkäin asetettua anturia, jotka vastaanottavat kuvan. Pro-Ceph-kefalostaatissa ei ole omaa kaihdinta, ja sensori on kiinteästi kiinni kefalostaatissa.

Kefalostaattipöydän alapinnassa on kulma-asteikolla varustettu vaakatasossa pyöritettävä pylpyrä, johon voidaan kiinnittää nenä- ja korvatuet potilaan asettamista varten. Kuvassa 19 (ks. seur. s.) on kefalostaatti ja sen osat nimettynä.



Kuva 19. ProMax kefalostaatti [14, muokattu]

7 Nykyiset ProMax-kefalostaatin suuntausmenetelmät

Planmecan panoraamaröntgentuotannossa on käytössä nykyään kaksi ProMax-kefalostaatin suuntausmenetelmää. Pääasiassa kefalostaatit suunnataan yhdessä sen mukana toimitettavan ProMaxin kanssa. Kefalostaatteja on myös saatavilla jälkiasennussarjoina, jotka pitää suunnata asennuksen yhteydessä.

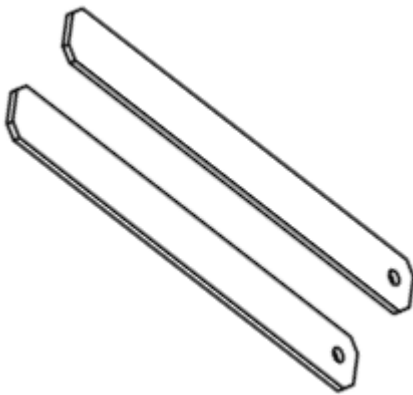
Jälkiasennussarjoina toimitettavat kefalostaatit säädetään niitä varten suunnitellun telineen avulla erikseen. Kefalostaatteja tilataan jälkiasennuksena merkittävästi harvemmin kuin ProMaxien yhteydessä. Jälkiasennussarjoja ei suunnata kuten ProMaxien kanssa yhdessä suunnatut kefalostaatit, vaan niihin tehdään vain karkeat esisäädöt.

Erään Planmecan jälleenmyyjän Planmeca USA:n edustajan mukaan ProMaxin kanssa suunnattujen kefalostaattien suuntauksen laatu on hyvä, ja niiden asentaminen vaatii vähän tai ei lainkaan säätämistä asentajalta. Nykyisten jälkiasennussarjoina toimitettavien kefalostaattien asennus vie paljon aikaa, ja se on hankalaa kokemattomalle asentajalle. [5.]

7.1 Kefalostaatin suuntaus ProMaxin kanssa

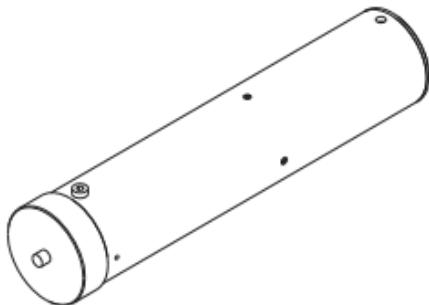
Nykyisellä suuntausmenetelmällä kefalostaatit suunnataan yhdessä sen mukana toimitettavan ProMaxin kanssa. Kefalostaatit suunnataan yksilöllisesti sopimaan isäntäkoneeseen, ja ne toimitetaan yhdessä asiakkaille.

Kefalostaatin suuntaukseen käytetään standardityökalujen lisäksi erityisesti työvaihetta varten suunniteltuja työkaluja, jotka esitellään seuraavaksi. Ensimmäinen työkaluista on kefalostaatin korvatukipidikkeisiin asetettavat suuntauskorvatuet (kuva 20).



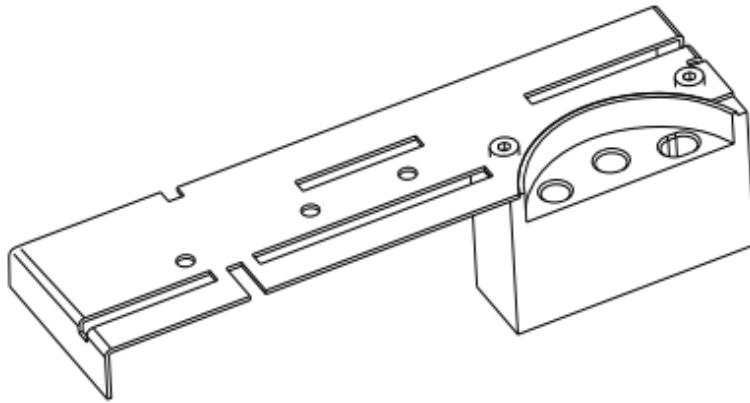
Kuva 20. ProMax-kefalostaatin suuntaukseen käytettävät suuntauskorvatuet [15, s. 285]

Suuntauskorvatukiin asetettavan suuntauslaserin (kuva 21) avulla suunnataan kefalostaattipöytä putkipäätä kohti. Suuntauslaserin kotelon sisällä on laser, jonka asento voidaan kalibroida. Suuntauksessa laser tähdätään putkipään esikaihtimeen merkittyyn ympyrään.



Kuva 21. ProMax-kefalostaatin suuntaukseen käytettävä suuntauslaser [15, s. 285]

Kefalostaatin sensorin asento kalibroidaan myös OPG:n sensorin kalibroinnissa käytettävällä Dimax-suuntaustyökalulla (kuva 22). Suuntaustyökalu koostuu muovisesta osasta, joka asetetaan suunnattavan koneen sensorin liittimeen; ja osaan kiinnitetystä pellistä, jonka uriin voidaan asettaa fluoressilevy erilaisiin standardoituihin asentoihin.



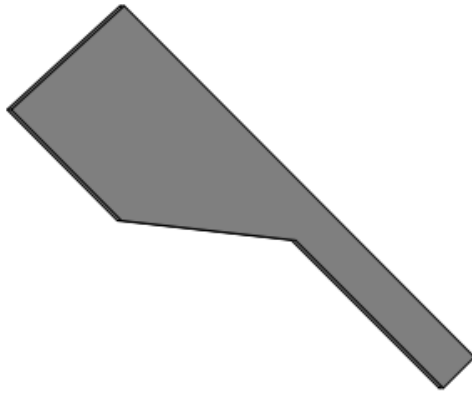
Kuva 22. ProMax-kefalostaatin suuntaukseen käytettävä Dimax-suuntaustyökalu [15, s. 286]

Dimax-suuntaustyökaluun kiinnitettävä fluorenssilevy (kuva 23) hohtaa valoa säteilyn osuessa siihen. Tämän avulla voidaan havainnoida sensorin alueelle kohdistuvaa sädekeilaa. Fluorenssilevyyn on merkitty viivoja, joihin säteilykeilan asentoa verrataan suunnattaessa.



Kuva 23. ProMax-kefalostaatin suuntaukseen käytettävä fluorenssilevy [15, s. 286]

Sensorin kuvan kalibroimisessa käytetään kuvan 24 (ks. seur s.) mukista alumiinista valmistettua kalibroitilevyä, joka asetetaan kefalostaatin korvatukikiinnikkeeseen. Kalibroitilevystä otetaan kuva Device Tool -ohjelmalla, jonka jälkeen kahden anturin kuvat kohdistetaan yhtenäiseksi kuvaksi. Ohjelma muodostaa sensorille kalibrointitiedoston, joka toimitetaan laitteen mukana.

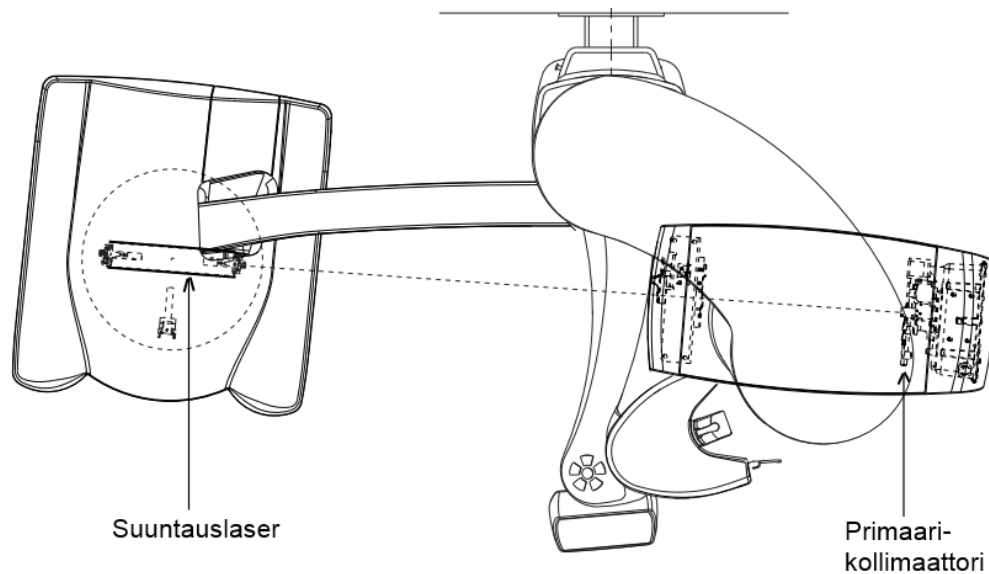


Kuva 24. ProMax kefalostaatin suuntaukseen käytettävä kalibrointilevy [15, s. 286]

Kefalostaatit kiinnitetään ProMaxeihin tuotantolinjalla elektroniikkakokoonpanossa. Samalla kefalostaatti esisäädetään suoraan, varren korkeus säädetään silmämääräisesti lähelle sopivaa korkeutta, kefalostaattipöydän kiskojen suuntainen kallistus säädetään OPG:n C-varren mukaisesti samansuuntaiseksi sekä pikaliitin ja kaihtimen kiinnitys esisäädetään vatupassilla oikeaan kulmaan.

Suuntausvaiheessa kefalostaatti suunnataan panoraamasuuntauksen jälkeen. Aluksi tarkistetaan, että kefalostaatin varsi on silmämääräisesti oikeassa asennossa. Tämän jälkeen tarkistetaan kefalostaatin kaihtimen, liittimen ja niiden kiskojen suoruus kefalostaattipöytään nähden vatupassilla. Seuraavaksi tarkistetaan kaihdin- ja liitinkelkan synkronointi vertaamalla niiden sijaintia toisiinsa ja kefalostaattipöytään nähden. Kelkkojen sijaintia ja kallistusta säädetään tarvittaessa.

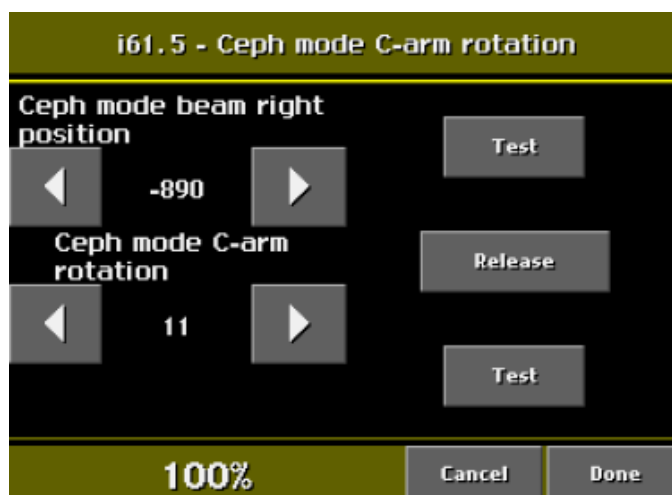
Karkean säädön jälkeen asetetaan kefalokuvaustilan kollimaattoriarvoille alkuarvot, jonka jälkeen kefalostaatin korvatukikiinnikkeisiin laitetaan suuntauskorvatuet ja suuntauslaser. Lasersäde säädetään kefalostaatin kallistukseen ja kiertoon vaikuttavilla ruuveilla osoittamaan putkipään esikaihtimessa olevaan merkkiin, joka näkyy primaarikollimaattorin kaihtimien välistä. Kuva 25 (ks. seur. s.) havainnollistaa työvaiheen asettelua.



Kuva 25. Suuntauslaserin kohdistaminen esikaihtimeen [15, s. 298, muokattu]

Lasersäteen kohdistamisella säädetään korvatuot kohdakkain kuvaustasoon nähden. Tämä vaihe on syytä tehdä huolellisesti, koska jos korvatuot ovat vinossa lopullisessa kuvassa, joudutaan kefalostaattipöydän kohdistamisen lisäksi tekemään myös myöhemmät työvaiheet uudelleen.

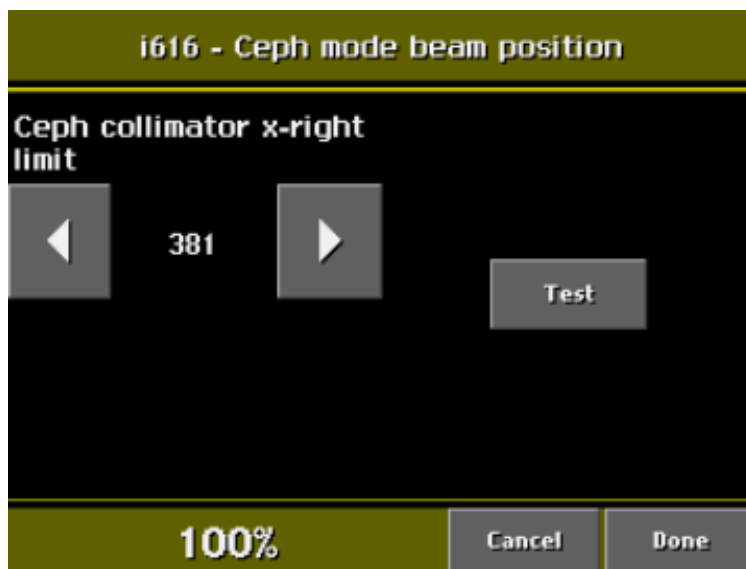
Seuraavaksi kefalostaatin liittimeen liitetään Dimax-suuntaustyökalu ja siihen kiinnitetään fluorensisilevy. Tässä vaiheessa myös irrotetaan kefalostaatin kaihdin ja kiinnitetään panoraamaliittimeen Dimax4-sensori. Tämän jälkeen mennään ProMaxin käyttöliittymässä kuvassa 26 näkyvään *ceph mode C-arm rotation* -valikkoon ja säädetään kaihtimen alkuasento kefalovalotuksessa (*ceph mode beam right position*).



Kuva 26. ProMax-käyttöliittymän *ceph mode C-arm rotation* -valikko [15, s. 304]

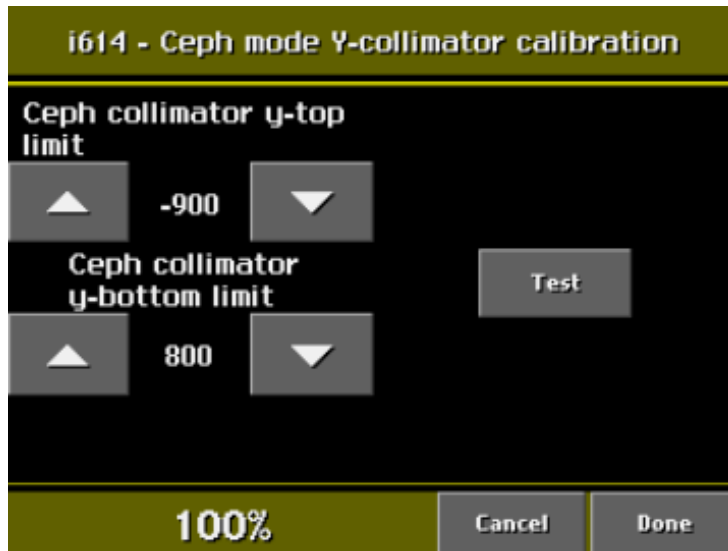
Ensin kaihdin säädetään niin, että valotuksen alussa panoraamaliittimeen aikaisemmin kiinnitetty sensori ei varjosta kefalostaatin liittimeen kiinnitettyä fluorenssia valotettaessa. Sitten samasta valikosta kierretään C-vartta niin, että säde valottaa sensorin aktiivisen alueen kokonaan sensorin kelkan ollessa kuvauksen alkutilassa eli kefalostaatilta putkipäähän katsoessa kiskojen oikeassa laidassa.

Tämän jälkeen siirrytään *ceph mode beam position* -valikkoon (kuva 27) ja kalibroidaan fluorenssia apuna käyttäen röntgenputken säde osoittamaan keskelle sensoria sen ollessa kuvausalueen puolivälissä.



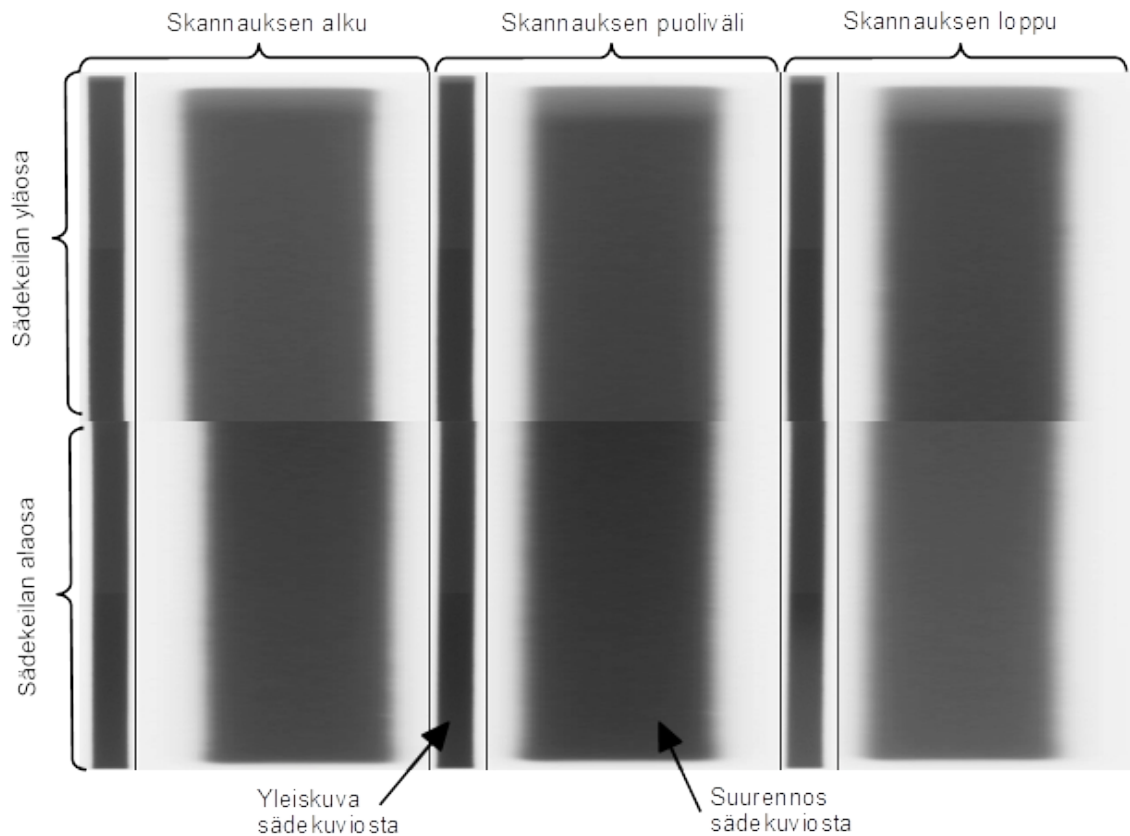
Kuva 27. ProMax-käyttöliittymän *ceph mode beam position* -valikko [15, s. 310]

Viimeiseksi kalibroidaan kefalokuvaustilan kollimaattorin y-arvot *ceph mode Y-collimator calibration* -valikosta (ks. kuva 28, seur. s.) niin, että säteen reunat himmenevät vasta sensorin aktiivisen alueen ulkopuolella. Lopuksi kefalostaatin kaihdin kiinnitetään takaisin kaihtimen kelkkaan ja säädetään kaihtimen aukot kohdakkain ja suoraan kefalostaatin antureihin nähden fluorenssilevyä valottaen.



Kuva 28. ProMax-käyttöliittymän *ceph mode Y-collimator calibration* -valikko [15, s. 312]

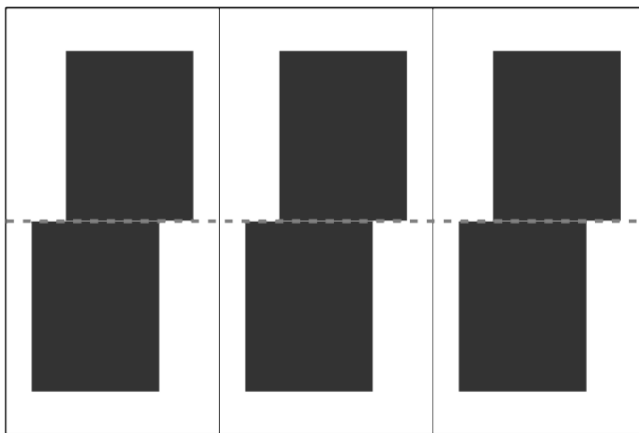
Tämän jälkeen Dimax-suuntaustyökalun tilalle laitetaan Dimax4-sensori ja käynnistetään tietokoneella Device Tool -ohjelma. Ensimmäisenä otetaan *beam check* -kuva, joka kuvaa kefalostaatin kaihtimen läpi pääsevää ja sensoriin osuvaa säteilykeilaa kolmessa eri kohdassa valotuksen aikana (kuva 29).



Kuva 29. *Beam check* -kuva, jossa kuvan osat selitettynä

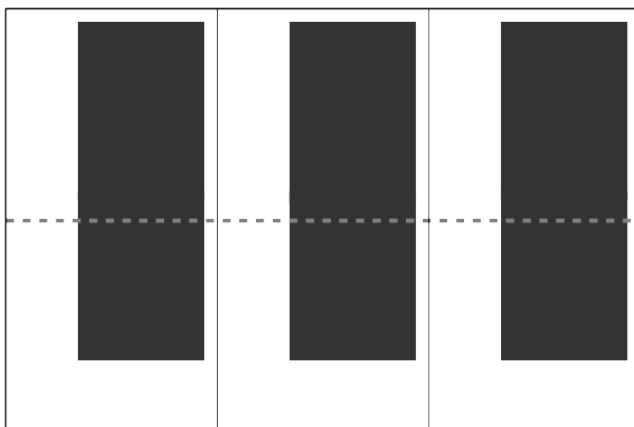
Kefalostaatin kaihdinta mekaanisesti kääntämällä se säädetään niin, että säde näyttää suoralta *beam checkissä*. Tässä vaiheessa on syytä tarkastella myös sitä, onko keila täysin valottunut koko matkalta, ja ovatko sädekeilat samassa kohdassa kussakin ruudussa. Seuraavaksi luetellaan yleisimpiä *beam check* -vikoja ja kerrotaan niiden aiheuttajista sekä niiden korjaamiseen liittyvistä toimenpiteistä.

Jos *beam checkin* säde on vinossa kuvan 30 mukaisesti, on kefalostaatin kaihdin vinossa. Tilanteen korjaamiseksi kaihdinta tulee kääntää kuvan 30 tapauksessa hieman vastapäivään sensoria kohti katsoen.



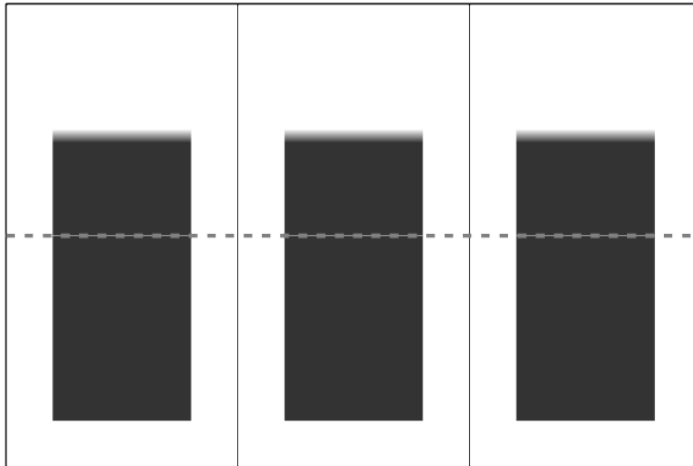
Kuva 30. Kefalostaatin *beam check*, joka on vinossa

Jos *beam checkin* säde ei ole keskellä kuvan 31 mukaisesti, kefalostaatin kaihdin ei ole pituus- tai korkeussuunnassa kohdakkain sensorin kanssa. Tilanteen korjaamiseksi kaihdinta tulee siirtää kuvan 31 tapauksessa hieman vasemmalle ja alaspäin sensoria kohti katsoen.



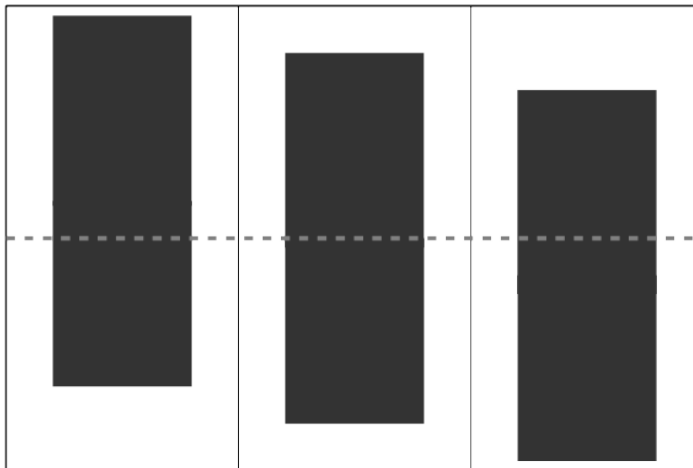
Kuva 31. Kefalostaatin *beam check*, joka ei ole keskellä

Jos *beam checkin* säteen korkeus on väärä kuvan 32 mukaisesti, primaarikollimaattorin y-arvot (*ceph collimator y-top limit* ja *ceph collimator y-bottom limit*, ks. kuva 28, s. 31) ovat liian pienet tai suuret. Tilanteen korjaamiseksi *ceph collimator y-top limit* -arvoa tulee kasvattaa kuvan 32 tapauksessa.



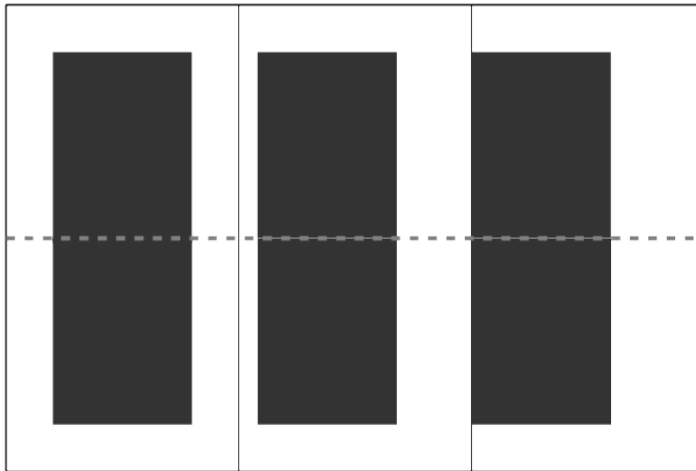
Kuva 32. Kefalostaatin *beam check*, jonka korkeus on väärä

Jos *beam checkin* säteet ovat eri korkeudella kuvan 33 mukaisesti, kefalostaatin liitin- ja kaihdinkiskot ovat toisiinsa nähden vinossa. Tilanteen korjaamiseksi kiskojen suoruus tulee tarkistaa ja säätää.



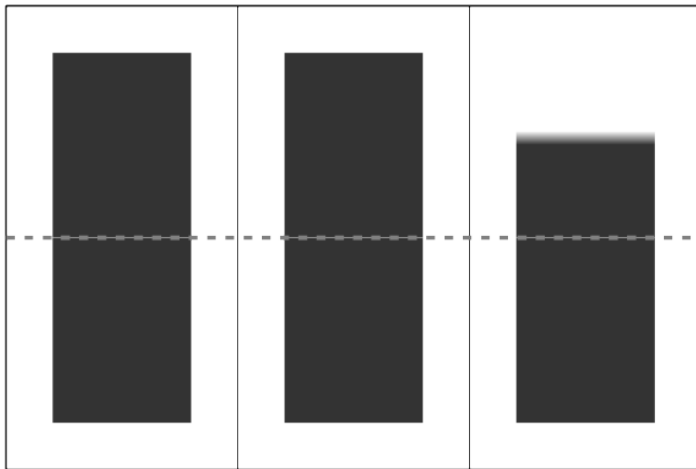
Kuva 33. Kefalostaatin *beam check*, jonka säteet ovat eri korkeudella

Jos *beam checkin* säteet ovat eri kohdissa sivuttaissuunnassa kuvan 34 (ks. seur. s.) mukaisesti, kefalostaatin liitin- ja kaihdinkelkkojen synkronointi ei ole kohdillaan. Tilanteen korjaamiseksi liitin- ja kaihdinkelkat on synkronoitava uudelleen.



Kuva 34. Kefalostaatin *beam check*, jonka säteet ovat eri kohdissa sivuttaissuunnassa

Jos *beam checkin* vasemmanpuoleisin säde katkeaa ylhäältä kuvan 35 mukaisesti, primaarikaihtimen runko rajoittaa säteilyä. Tämä johtuu siitä, että kefalostaatin varsi on säädetty liian korkealle tai röntgenputki on suunnattu väärin. Tilanteen korjaamiseksi kefalostaatin vartta tulee laskea, jos mahdollista. Jos varren laskeminen ei ole mahdollista, ProMaxin putkipää tulee vaihtaa.

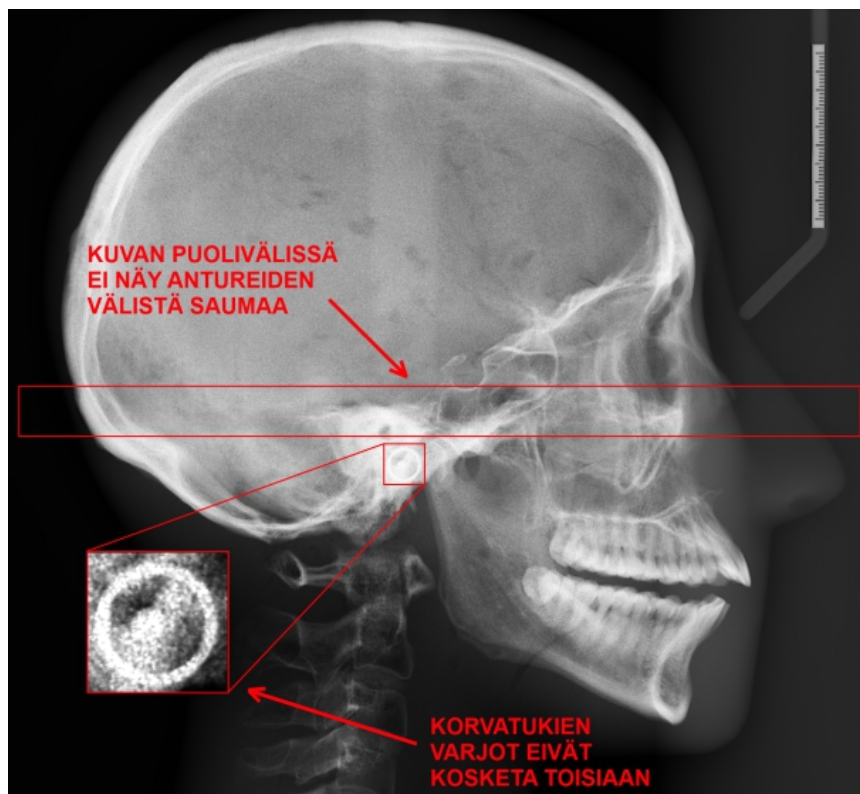


Kuva 35. Kefalostaatin *beam check*, jonka vasemmanpuoleisin säde katkeaa ylhäältä

Onnistuneen *beam checkin* jälkeen otetaan kalibrointikuva kalibrointilevystä, jolla säädetään sensorin kaksi erillistä anturia tuottamaan yhtenäinen ja saumaton kuva. Lopuksi testataan kefalostaatin suuntaus ottamalla lateraalinen kefalokuva testikallost. Kefalostaattiin kiinnitetään korva- ja nenätuet ja kallo asetetaan oikeaan asentoon.

Kefalokuvasta tarkastetaan korvatukien kohtisuoruus kuvatasoa kohden. Hyväksyttävänä pidetään sitä, että vasemman korvan korvatuessa oleva kuula ei kosketa oikean

korvan korvatuessa olevaan renkaaseen röntgenkuvassa. Kuvasta tarkistetaan myös, ettei siinä näy kahden erillisen anturin välistä saumaa tai kuolleiden pikseleiden aiheuttamia viivoja. Jos kuvassa näkyy sauma, se voi korjaantua uudella kalibroinnilla, muuten se johtaa sensorin vaihtoon ja uudelleen suuntaamiseen. Kuvassa 36 on esimerkki hyväksyttävästä kefalokuvasta.



Kuva 36. Esimerkki hyväksyttävästä kefalokuvasta

7.2 Jälkiasenteisen kefalostaatin suuntaus

Jälkiasenteiset kefalostaatit säädetään tehtaalla kefalostaattipöytien kokoonpanossa, minkä jälkeen ne lähetetään asiakkaalle. Sääto on karkea ja merkittävä osa suuntaustyöstä jää asiakkaan päähän asentajalle.

Jo kefalostaattipöydän kokoonpanovaiheessa pyritään kiinnittämään huomiota kuvan laatuun vaikuttaviin tekijöihin. Kaihtimen ja liittimen kiskojen suoruus toisiinsa ja kefalostaattipöytään nähden tarkastetaan kiinnitysvaiheessa vatupassilla. Myös kaihdin- ja

liitinkelkat synkronoidaan, jotta sädekeilat pysyvät sensorilla koko röntgenkuvan valotuksen matkalla.

Jälkiasennussarjan kokoaminen aloitetaan kiinnittämällä kefalostaatin varsi kefalostaatin säätöön tarkoitettuun, ProMaxin rungosta valmistettuun telineeseen. Tämän jälkeen kefalostaatin pöytä nostetaan hydraulisella nostimella ylös ja kiinnitetään varteen. Varren kiinnityskohta säädetään tämän jälkeen vesivaakaa apuna käyttäen ProMaxin rungon yläpinnan kanssa samaan kulmaan. Tämän jälkeen säädetään kefalostaattipöydän kallistus vaakatasoon niin, että pöydän alapinta on yhdensuuntainen lattian kanssa.

ProMaxien mukana toimitettavista kefalostaateista poiketen, jälkiasennussarjoina toimitettavien kefalostaattien pöydän kiertoa ei säädetä. Tämä on suoritettu aikaisemmin ProMaxin mukana toimitettavien kefalostaattien suuntauksen kaltaisesti suuntauskorvatuksen ja suuntauslaserin avulla. Erillissuuntauksessa suuntauslaser suunnattiin suuntaustelineeseen kiinnitettyyn ruudukkoon putkipään puuttuessa. Tästä työvaiheesta on kuitenkin luovuttu, koska summittaisesti aseteltuun ruudukkoon tähdättynä kefalostaattipöydän kierto ei ollut sen paremmassa asennossa kuin säätämättömänkään.

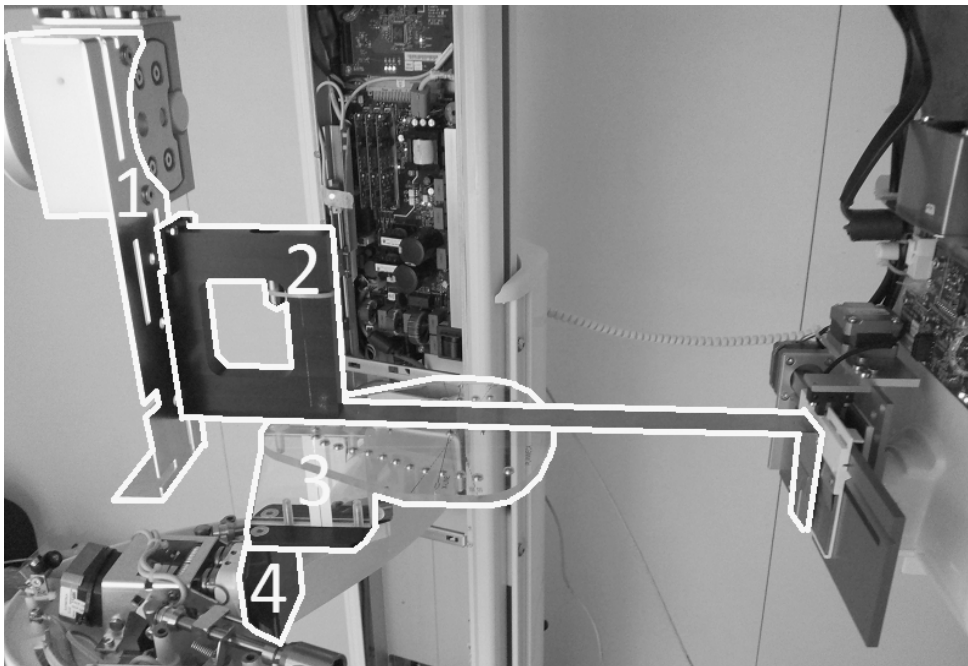
Suuntauksen lopussa kefalostaatin sähköinen ja mekaaninen toimivuus tarkistetaan. Tähän kuuluvat: kelkkojen liike, korvatukien liike ja -lukitus, pylpyrän pyöriminen ja sen asennontunnistus.

7.3 ProMax-ortopantomografin suuntaus

ProMax-ortopantomografin panoraamatilan suuntaus vaikuttaa SCARA-varsiston olka-varren asentoon, mikä on yksi merkittävimmistä muuttujista ProMax-kefalostaatin suuntauksessa. Kefalokuvaustilaan siirtyessä kolminivelinen robottivarsisto ajaa olka-varren asentoon, joka määräytyy panoraamakuvaustilan mukaan kalibroidun varsiston asennon perusteella. Varsiston asento vaikuttaa kefalostaatin suuntauksessa kefalostaattipöydän asentoon. Tämän vuoksi työssä käydään myös panoraamatilan suuntaus läpi pintapuolisesti kefalostaatin suuntaukseen vaikuttavien asioiden näkökulmasta.

Jotta OPG:llä otetusta panoraamakuvasta tulisi hyvä, tulee röntgensäteen osua sensorin keskelle ja olkavarren tulee kuljettaa kuvantamisen polttopiste oikeaa reittiä kuvattavaan kohteeseen nähden. Panoraamasuuntauksen alussa tarkistetaan ProMaxin potilas-tuen suoruus varsiin nähden ja säädetään tarvittaessa. Näiden mukaan asetetaan myös sensorin liitin ja kollimaattori suoraan. Tämän jälkeen primaarikollimaattorin suoruus ja sen aukon sijainti säädetään fluorisoivan levyn ja röntgenputkella suoritettun säteilytyksen avulla. Tämän jälkeen säde on säädetty suoraksi keskelle sensorin aktiivista aluetta.

Seuraavaksi säädetään C-varren pyörähdyskeskipiste keskelle kuvattavaa kohdetta. Sää-tö suoritetaan liittimeen asetetun suuntaustyökalun ja kaihtimien väliin kiinnitetyn suun-tausviivaimen ja leukatukiadapteriin kiinnitetyn kuulafantomiksi kutsutun suuntaustyö-kalun avulla. Kuvassa 37 on suuntausasetelma C-varren pyörähdyskeskipisteen säätöä varten:

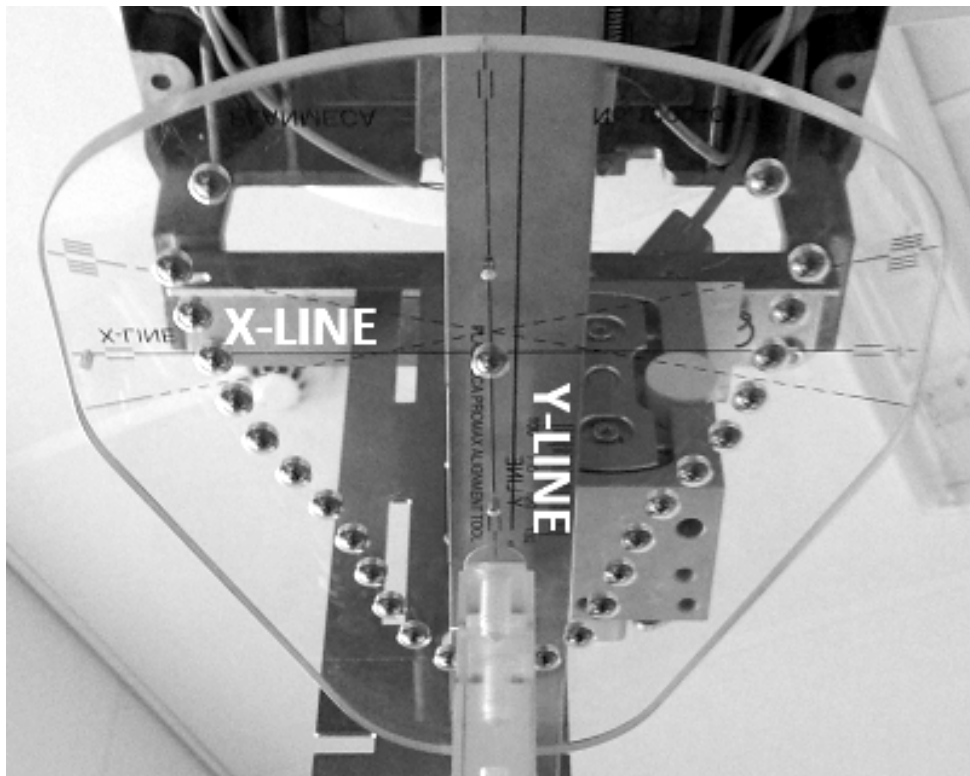


Kuva 37. C-varren pyörähdyskeskipisteen säätäminen

Kuvaan 37 on merkitty numerolla 1 Dimax-suuntaustyökalu, joka esittää sensoria. Nu-merolla 2 on merkitty suuntausviivain, joka kuvaa röntgensäteilyn kulkemaa reittiä. Nu-merolla 3 on merkitty kuulafantom, joka esittää kuvattavaa kohdetta. Numerolla 4 on

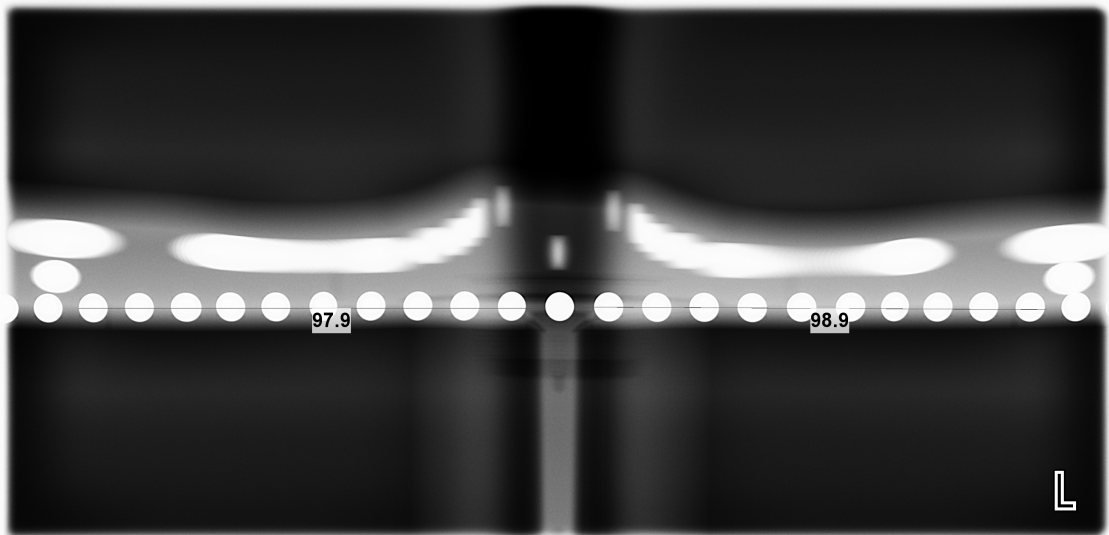
merkitty leukatukiadapteri, jonka avulla kuulafantom voidaan liittää ProMaxin potilastukeen leukatuen paikalle.

Oлка- ja kyynärvarsi lukitaan paikoilleen niiden läpi työnnettävällä lukitussokalla ja C-vartta pyörittämällä tarkkaillaan, kuinka suuntausviivaimen viiva pysyy kuulafantomiin piirrettyjen viivojen kanssa linjassa C-varren eri asennoissa (kuva 38). Tarvittaessa olkavarren panoraamakuvasasennon määrittävää referenssilevyä, potilastukea ja sensorin liitintä säädetään niin, että suuntausviivain on samassa linjassa kuulafantomien linjojen kanssa toleranssien sisällä. Kun pyörähdyskeskipiste on säädetty kohdilleen ja olkavarren referenssilevy on paikoillaan, varsisto kalibroidaan.



Kuva 38. Kuulafantomien ja suuntausviivaimen linjojen tarkasteleminen

Kalibroinnin jälkeen sensori kiinnitetään liittimeen ja käynnistetään PC:llä Device Tool -ohjelma. Koneella tehdään *beam check* ja tarvittaessa hienosäädetään sädekuvio suoraan kaihdinta mekaanisesti kääntämällä ja säädetään se keskelle kaihdinarvoja muuttamalla. Tämän jälkeen kalibroidaan sensori. Seuraavaksi otetaan Planmeca Romexis -kuvantamisohjelmalla panoraamakuva kuulafantomien ollessa kiinnitettynä leukatukiadapteriin ja saadaan kuvan 39 (ks. seur. s.) mukainen röntgenkuva.



Kuva 39. Kuulafantomkuva Planmeca Romexis -ohjelmassa

Kuvan 39 symmetrisyydestä ja mittasuhteista voidaan päätellä, onko kuvauksen fokus-alue oikeassa asennossa ja paikassa. Kuvasta tulee tarkistaa, onko ylhäällä näkyvistä kolmesta pystysuorasta viirusta keskimäinen keskimäisen kuulan kohdalla ja ovatko kymmenennet kuulat oikealle ja vasemmalle keskimäisestä kuulasta sopivalla ja yhtä suurella etäisyydellä keskikuulasta toleranssien sisällä.

Jos säädöt on saatu kohdilleen riittävän tarkasti kuulafantomilla ja suuntausviivaimella, kuulafantomkuvan kalibroimiseen riittää usein vain potilastuen säätäminen. Jos kuvaa ei saa tällä tavalla hyväksyttäväksi, joudutaan säätämään sensorin liitintä, jolloin joudutaan kalibroimaan kaihtimet ja sensori uudestaan. Olkavarren referenssilevyä voidaan joutua myös säätämään, jolloin joudutaan kalibroimaan varsisto uudestaan.

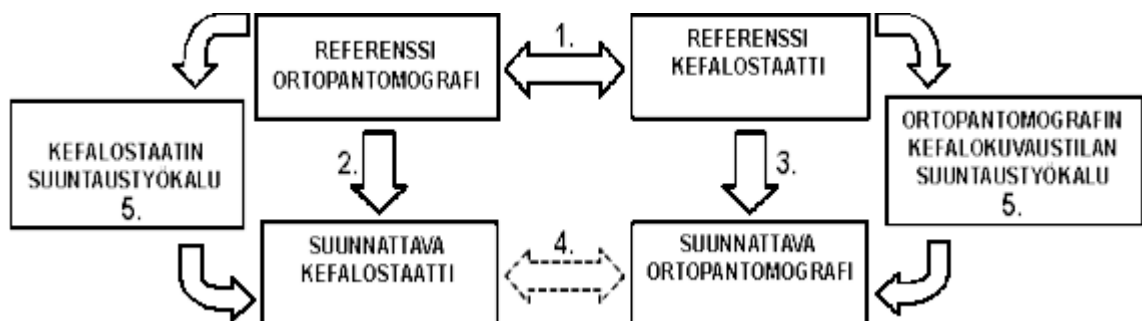
Koska SCARA-varsisiston asento kefalokuvauksessa määräytyy panoraamatilan suuntauksessa määritetyn referenssilevyn sijainnin mukaan, OPG:n suuntaus vaikuttaa oleellisesti kefalostaatin suuntaukseen. Olkavarren asento vaikuttaa putkipään sijaintiin suhteessa kefalostaattiin ja tätä kautta kefalostaattipöydän kierron säätöön. Sopivia asentoja olkavarrelle on monia, koska kuulafantomkuvien mitoissa on toleranssia ja potilastukea siirtämällä voidaan kompensoida olkavarren säätöä. Tämän vuoksi koneiden välisiä eroja olkavarren asennon suhteen syntyy erityisesti suuntausvaiheessa.

8 Referenssisuuntaus

Referenssisuuntauksella tarkoitetaan erillissuuntausmenetelmää, jossa kaikki tuotannon ProMax-ortopantomografit ja ProMax-kefalostaatit suunnataan yhden kefalostaatillisen ProMaxin, eli referenssikoneen, mukaan. Tutkimuksessa oletetaan, että yhteisen vertailukohteen mukaan suunnatut tuotteet olisivat yhteensopivia eikä koneiden suuntausasetusten eroilla olisi merkitystä.

Referenssisuuntauksessa suunnattava kefalostaatti liitetään referenssi-OPG:hen ja suunnataan siihen sopivaksi. Vastaavasti suunnattavaan OPG:hen liitetään referenssikefalostaatti, jonka mukaan OPG suunnataan. Tuotannossa valmiissa menetelmässä käytettäisiin referenssituotteiden tilalla vastaavia suuntaustyökaluja.

Uudella menetelmällä kefalostaatillisen ProMaxin tuotantoaika pysyisi suunnilleen entisellään, mutta mahdollisuus tehdä kefalostaatteja varastoon tehostaisi tuotantoa nykyisestä. Referenssisuuntaus vaatii tuotantotiloista suuntauskopin myös kefalostaatin suuntaamiseen, koska menetelmä vaatii putkipään käyttöä suuntaamisessa.



Kuva 40. Referenssiin perustuva kefalostaatin erillissuuntaus

Kuvan 40 kaaviossa on selitetty referenssisuuntausta. Kuvaan on numeroitu mallin eri osa-alueiden väliset suhteet. Seuraavaksi selitetään kutakin kuvan numeroitua suhdetta ja vastaavaa työvaihetta:

1. Menetelmää varten määritetään referenssi ortopantomografi ja kefalostaatti, joiden säädöt on tarkoin valittu niin, että niiden mukaan voidaan suunnata muita laitteita säätövarojen ollessa riittäviä. Referenssi-OPG

ja referenssikefalostaatti suunnataan keskenään nykyisellä suuntausmenetelmällä.

2. Suunnattua referenssiortopantomografia käytetään suuntausreferenssinä suunnattaville kefalostaateille. Suunnattava kefalostaatti kiinnitetään nykyisen suuntausmenetelmän mukaisesti referenssi-OPG:n runkoon kiinni.

Nykyisestä suuntausmenetelmästä poiketen kefalostaattia ei voida säätää ProMaxiin sopivaksi, vaan ProMax säädetään kefalostaattiin sopivaksi. Tämän vuoksi kefalostaatin varteen on tehtävä muutoksia, jotka mahdollistaisivat kefalostaatin liikuttamisen niin, että sillä kompensoidaan ortopantomografian C-varren ja kaihtimien säätöjen puuttumista.

Edelle mainittua lukuun ottamatta, kefalostaatti säädettäisiin nykyisten suuntausmenetelmien mukaan. Lopullinen hienosäätö suoritetaan asennuksen yhteydessä OPG:n kaihdinarvoja säätämällä.

3. Kefalostaattien erillissuuntaus vaatii myös ProMax-OPG:n suuntaukseen muutoksia. Suunnattavan ProMaxin kefalokuvaustila suunnataan referenssikefalostaatin avulla. ProMaxin olkavarsi ja C-varsi suunnataan vertailukohteena toimivan referenssikefalostaatin mukaisesti.

SCARA3-laitteissa olkavarren säätäminen vaatii mahdollisuuden muuttaa olkanivelen asentoa kefalokuvaustilassa käyttöliittymästä. Koska SCARA2-laitteissa ei ole olkaniveltä, niissä referenssikefalostaatti määritetään sellaiseksi, että olkavarren referenssilevy voidaan kalibroida kefalostaatin mukaan.

Referenssilevyn asento valitaan niin, että panoraamakuvauksessa C-varren pyörähdyskeskipiste on mahdollisimman keskellä kuvattavaa kohdetta. Näin pyörähdyskeskipiste on mahdollista asettaa kohdilleen siirtämällä potilastukea.

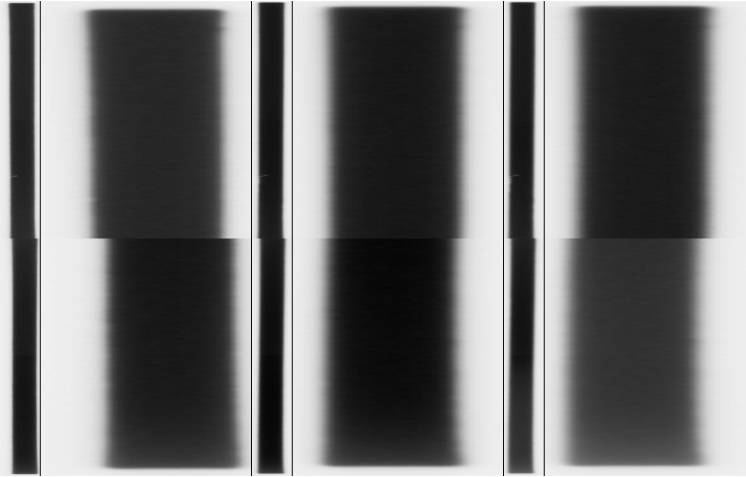
4. Jotta uusi suuntausmenetelmä toimisi tarkoituksenmukaisesti, erillisinä suunnattujen OPG:iden ja kefalostaattien tulee olla keskenään yhteensopivia. Tämän oletuksen paikkansa pitävyys selvitetään menetelmän suuntaustestissä kokeellisesti. Jos kefalostaatin suuntauksen laatu ei ole riittävä, menetelmän päättelyketjussa ei ole otettu huomioon kaikkia häiriötekijöitä.
5. Suuntaustyökaluina ProMax-OPG ja -kefalostaatti olisivat liian painavia ja tilaa vieviä. Jos menetelmä otetaan tuotannon käyttöön, on järkevää valmistaa referenssi-OPG:n ja -kefalostaatin perusteella niitä vastaavat suuntaustyökalut. Työkalujen tarvitsisi olla vain suuntauksen kannalta oleellisin osin vastaavia kuin referenssilaitteet, joten niistä voitaisiin tehdä kevyempiä ja edullisempia.

8.1 Referenssisuuntaustestin valmistelu

Referenssiin perustuvaa erillissuuntausta testattiin kahdella kefalostaatillisella SCARA3 ProMax -röntgenlaitteella, joista toinen suunnattiin referenssikoneeksi. Referenssinä käytettävä kone suunnattiin kefalokuvantamisen kannalta tarpeellisin osin käytössä olevan suuntaustavan mukaisesti.

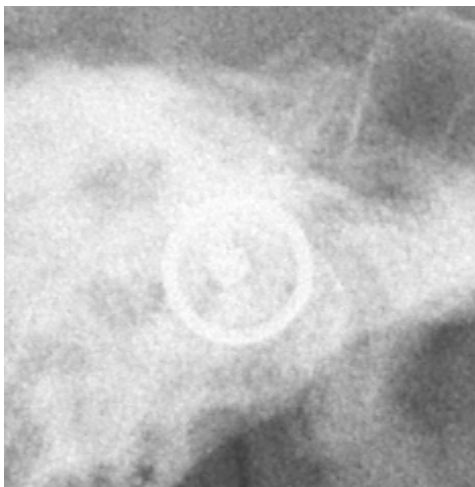
Koneesta suunnattiin OPG ja kefalostaatti, jotka merkittiin teipillä referensseiksi, jotta ne eivät sekoittuisi suunnattavien osien kanssa toista ProMaxia suunnattaessa. Kun mahdollista, osien säädöt valittiin niin, että ne olivat lähellä laitteiden keskimääräisiä asetuksia ja että säätövaraa jää jokaiseen suuntaan. Tällä minimoitiin mahdollisuus siihen, että referenssikoneen mukaan suunnattavasta koneesta loppuisi säätövarat.

Suunnatulla referenssikoneella otettiin *beam check* -kuva (ks. kuva 41, seur. s.) referenssin laadun varmistamiseksi. Kuvan 41 *beam checkin* säteilykuviot ovat suhteellisen suorassa ja keskellä sensorin antureissa sekä säteilykuviot ovat valottuneet hyvin koko pitiudeltaan. *Beam check* täyttää laatuvaatimukset, joten voidaan todeta, että suuntaus on tältä osin laadukas.



Kuva 41. Referenssikefalostaatin ja referenssi-OPG:n *beam check* -kuva

Seuraavaksi suunnatulla referenssikoneella otettiin korvatukikuva. Kuvassa 42 kefalostaatin korvatukien renkaan ja kuulan muodostamat varjot ovat selvästi toistensa sisällä eivätkä kosketa toisiaan. Korvatukikuva täyttää laatuvaatimukset, joten kefalostaatin suuntaus on myös tältä osin laadukas.



Kuva 42. Referenssikefalostaatin ja referenssi-OPG:n korvatukikuva

8.2 Referenssisuuntaustesti

Toisen testissä käytetyn ProMaxin kefalostaattia ja ortopantomografia käytettiin uuden suuntausmenetelmän testaamiseen. Osat suunnattiin referenssisuuntausmenetelmän mukaisesti suunnatun referenssikoneen avulla.

Aluksi suunnattavan ProMaxin panoraamakuvaustila suunnattiin nykyisen menetelmän mukaisesti, jotta varsisto saatiin kalibroitua alustavasti. Tämän jälkeen suunnattavan koneen sekä referenssikoneen kefalostaatit ja ortopantomografit irrotettiin toisistaan. Kefalostaattien kiinnitykset irrotettiin OPG:n rungosta ja ne nostettiin irti kokoonpanossa käytettävällä tunkilla. Tässä vaiheessa OPG:n rungosta irrotettiin myös kefalostaatin varren korkeuden säätöosat (kuva 43) ja ne liitettiin osaksi kefalostaattia.

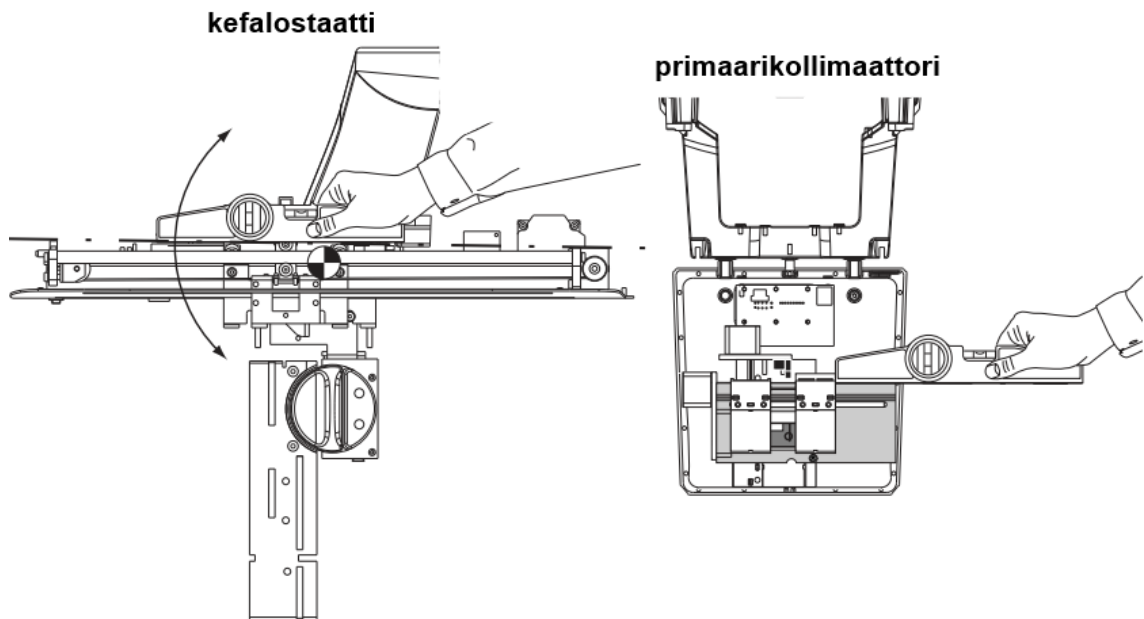


Kuva 43. Kefalostaatin korkeuden säätöosat ympäröitynä vaalealla ääriiviivalla

Tämän jälkeen referenssikefalostaatti kiinnitettiin suunnattavaan OPG:hen ja suunnattava kefalostaatti kiinnitettiin referenssi OPG:hen. Suuntaaminen aloitettiin OPG:n kefalokuvaustilasta.

8.2.1 Ortopantomografin kefalokuvaustilan referenssisuuntaus

OPG:n erillissuuntaus aloitettiin kiinnittämällä sen runkoon referenssikefalostaatti ja kefalostaatin korkeudensäätöosat. Tämän jälkeen verrattiin kefalostaatin ja kefalokuvaustilaan asetetun OPG:n C-varren kallistusta potilastukivarren suuntaisesti, jotta putkipäästä lähtevä säteilykeila saapuu suorassa kefalostaatille. Molemmat todettiin keskenään riittävän suoriksi. Kuvassa 44 (ks. seur. s.) havainnollistetaan kulmien mittausta vesivaa'alla kefalostaattipöydästä ja C-varressa olevasta primäärikollimaattorista.



Kuva 44. Kefalostaatin ja C-varren kallistuksen arvioiminen vesivaa'alla. [15, s. 298]

Jos kefalostaatin kallistusta ei voi säätää, näiden osien väliseen kallistukseen ei voida vaikuttaa ilman primaarikollimaattorin kallistamista. Tämä kuitenkin vaikuttaisi jo aikaisemmin suunnattuun panoraamapuolen suuntaukseen.

Panoraamakuvauksessa primaarikollimaattorin kallistus säädetään hyvin tarkasti, jonka vuoksi kollimaattorin säätäminen ensisijaisesti kefalokuvaustilan mukaan ei ole järkevää. Yksi mahdollisuus säätää kefalostaatin kallistusta olisi lisätä ProMaxin liikkuvaan runkoon kefalostaatin kiinnityksen kohdalle kefalostaattivarren kallistuksen säätö. Näin kefalostaatin kallistus kuvan 44 suuntaisesti voitaisiin säätää konekohtaisesti.

Voidaan kuitenkin olettaa, että kefalostaatin ja C-varrien väliset kulmat vaihtelee merkityksettömän vähän ottaen huomioon, ettei kefalostaatin toiminta ole kovin herkkä kulmien eroavaisuuksille. Merkittävää vaihtelua voi tulla vain ProMaxin rungon kefalostaatin kiinnityskohdan ollessa pahasti vääntynyt verrattuna suuntausreferenssinä käytettyyn OPG:n runkoon. Kefalostaatin osien, esimerkiksi varren tai sen kiinnityksen, variaansseilla ei ole merkitystä, sillä niiden vaikutusta kompensoidaan kefalostaattipöydän kallistuksella.

Referenssiin perustuva suuntaus vaatii mahdollisuuden säätää ProMaxin käyttöliittymästä olkavarren asentoa kefalokuvaustilassa, jotta säteilylähde saadaan kuvaustilassa

korvatukien kanssa samaan linjaan. Nykyiset SCARA3-laitteet pyörittävät olkaniveltä ennalta määrätyn verran vastapäivään referenssiasennosta eikä siihen voi vaikuttaa. Tällä säädöllä röntgenputken suunta säädetään vastaamaan suuntauslaserilla määritetyn referenssikefalostaatin kefalostaattipöydän suuntausta. Kefalostaattipöydän suuntaus esitettiin kuvassa 25 (ks. s. 29).

Olkavarren säätöä pyrittiin simuloimaan liikuttamalla olkavartta manuaalisesti. Tämä vaati ProMaxin konetyypin muuttamisen SCARA2:ksi, jotta olkavarren moottori voitiin kytkeä irti olkavarren liikuttamiseksi.

Testin esteeksi muodostui kuitenkin C-varren säätövaran (*C-arm rotation*) loppuminen. Testin suunnittelussa ei oltu otettu huomioon, että SCARA2-koneet ajavat robottivarsiston kyynärvarren eri asentoon kuin SCARA3-koneet pitääkseen kefalokuvauksen fokus–filmi-etäisyyden vakiona. Kyynärvarren asento SCARA2 varsiston kefalokuvaustilassa poikkeaa niin paljon SCARA3:n vastaavasta, että olkavarren ollessa SCARA3-asennossa pelkästään C-vartta kääntämällä säteilykeilaa ei saada kohdistettua oikeaan kohtaan. Tämä hankaloitti hieman testin suorittamista, sillä olkavarren siirto tuli suorittaa korvaavalla tavalla.

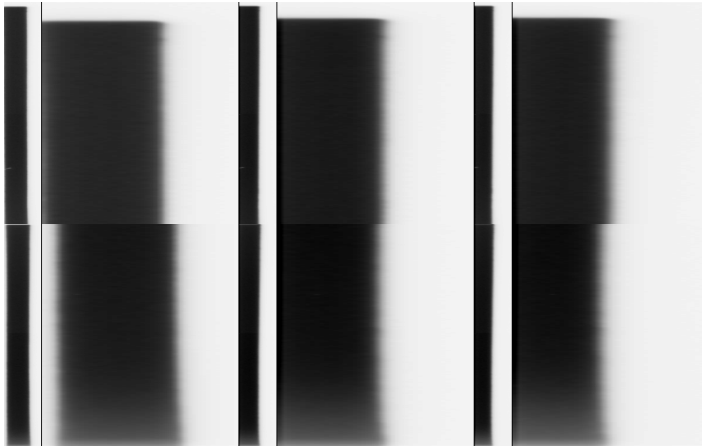
Jotta olkavarren paikkaa kefalokuvaustilassa voitiin muuttaa, täytyi olkavartta säätää olkareferenssilevyä siirtämällä ja tämän jälkeen kalibroida varsisto. ProMaxin kone-tyyppi vaihdettiin takaisin SCARA3:ksi ja olkanivelen moottori kytkettiin takaisin.

Referenssilevyn säätäminen tehtiin panoraamakuvaustilassa, jolloin olkavarren asentoa kefalokuvaustilassa ei voitu suoraan nähdä. Olkavarren lopullinen asento kefalokuvaustilassa arvioitiin vertaamalla kefalostaattiin asetetun suuntauslaserin sijaintia putkipäähän nähden. Olkavartta käännettiin referenssilevyn säätövaran sisällä mahdollisimman paljon myötäpäivään. Referenssilevyn siirto tehtiin testissä vain korvaamaan menetelmässä tarpeellinen olkavarren säätö, joten siirron vaikutuksista koneella otettuihin panoraamakuviin ei ole merkitystä.

Kalibroinnin ja kefalokuvaustilaan siirtymisen jälkeen C-vartta käännettiin niin, että suuntauslaser osoitti putkipäässä merkattuun kohtaan. Kyynärvarren pyöriminen

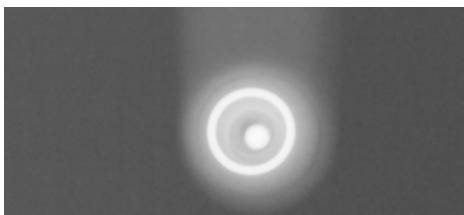
estettiin lukitussokalla. Tämän jälkeen katsottiin säteilykeilan reunan sijainti kefalostaatin fluorensisilevyllä ja todettiin sen olevan riittävän lähellä haluttua kohtaa.

Kun suuntaus oli suoritettu, koneella otettiin *beam check* (kuva 45) Device Tool -ohjelmalla. Kuvasta 45 huomataan, että *beam check* -kuvio on sivussa, hieman liian alhaalla ja säde ei valota kunnolla kaihdinaukon alareunaa. Viimeisenä mainittu puute on helppo korjata säätämällä kaihtimen arvoja. Säteen sijaintia anturialueella on kuitenkin vaikeampi muuttaa suunnatessa OPG:n kefalokuvaustilaa, sillä käytössä olevalla suuntausmenetelmässä säteen sijainti korjataan kaihdinta liikuttamalla, mikä ei ole mahdollista kefalostaattireferenssiä käytettäessä.



Kuva 45. Referenssikefalostaatin ja suunnattavan OPG:n *beam check* -kuva

Vaikka kuvan 45 *beam check* on otettu samalla kefalostaatilla kuin kuvan 41 (ks. s. 43) *beam check*, se ei ole keskellä. Tästä voidaan päätellä, että jokin OPG:n säädöistä vaikuttaa *beam checkin* sijaintiin, vaikka nykyisellä suuntausmenetelmällä säteen sijaintia on korjattu vain kaihdinta säätämällä. *Beam checkin* jälkeen laitteella otettiin korvatukikuva (kuva 46). Kuvasta nähdään, että korvatukikuva on laatuvaatimusten mukainen.

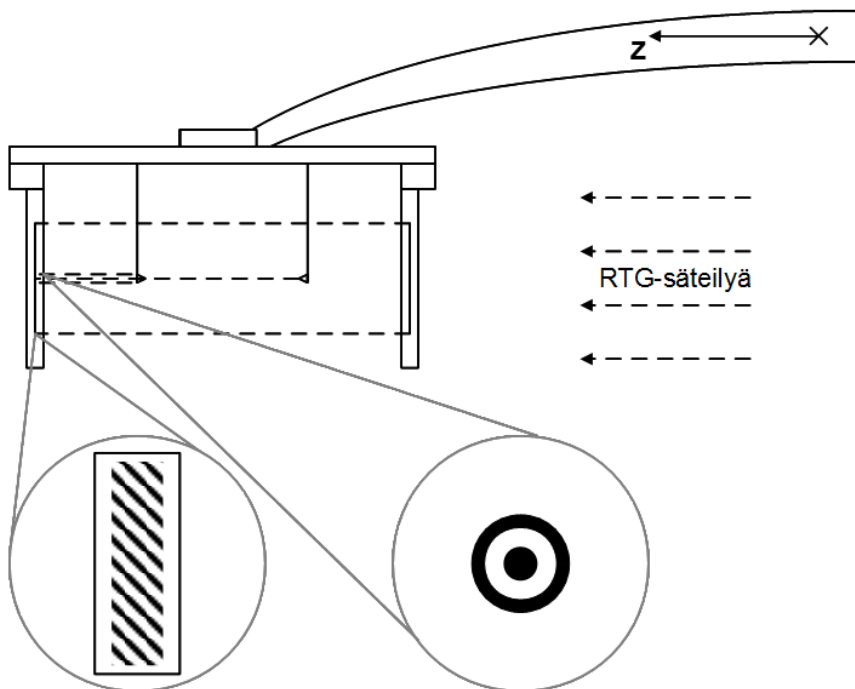


Kuva 46. Referenssikefalostaatin ja suunnattavan OPG:n korvatukikuva

Kuvan 45 (ks. ed. s.) *beam checkin* pystysuuntainen poikkeama on hyvin pieni, ja se täyttää laatuvaatimukset, koska sädekuvion alalaita on vielä näkyvissä aivan laatikon rajalla. *Beam checkin* parantamiseksi kefalostaattivarren korkeudensäätöosat voitaisiin liittää osaksi OPG:tä, jolloin korkeudensäätö olisi OPG-kohtainen. Korkeuden säätämisen lisäksi sillä voitaisiin vaikuttaa hieman kefalostaattipöydän kulmaan, jolla voitaisiin tarvittaessa tehdä pieniä korjauksia *beam checkin* korkeuteen.

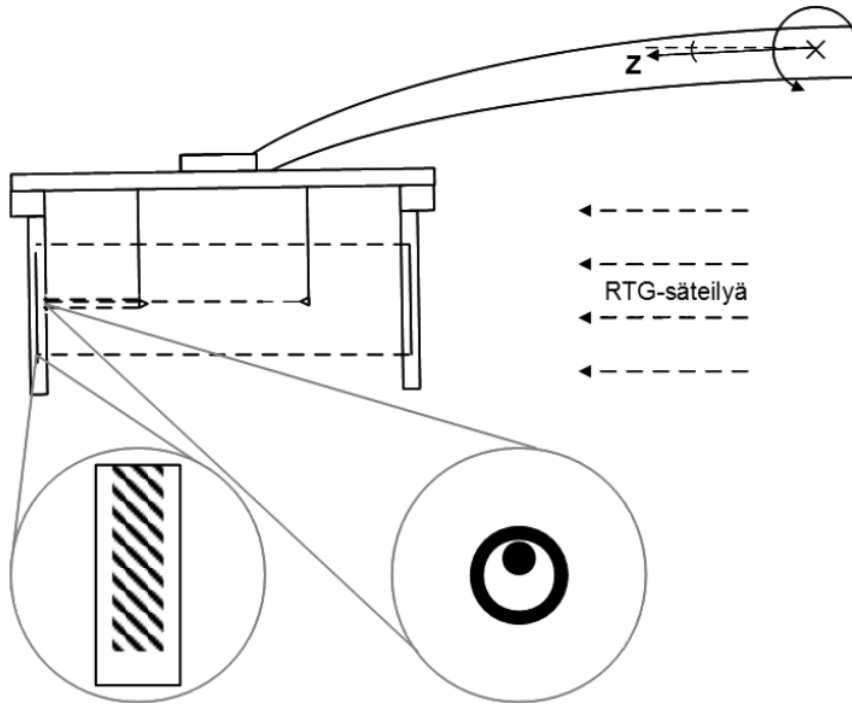
Laskemalla kefalostaatin vartta alaspäin, *beam check* nousisi ylöspäin, koska kefalostaatin sensori on kauempana säädön pyörimiskeskistä kuin kefalostaatin kaihdin. Tämä vaikuttaisi myös korvatukien sijaintiin toisiinsa nähden, mutta vähemmän kuin *beam checkiin*, koska niiden etäisyys toisistaan on pienempi kuin kaihtimen ja sensorin. Kuvat 47 ja 48 (ks. seur. s.) selventää varren korkeuden säädön vaikutusta *beam check-* ja korvatukikuviin.

Kuvassa 47 nähdään kefalostaatti ennen kefalostaattivarren säätöä. Esimerkissä näkyy ympyröitynä keskellä anturia sijaitseva *beam check* ja kohdakkain olevat korvatuet. Katkoviivoilla on merkitty säteilyn aiheuttaman varjon rajat. Kefalostaattivarren pyörimiskeskistä on merkitty ruksilla.



Kuva 47. Kefalostaatti, *beam check* ja korvatukikuva ennen kefalostaattivarren säätöä

Kuvassa 48 nähdään kefalostaatti korkeuden säätämisen jälkeen. Kuvasta nähdään, miten kefalostaattivarren kiertäminen vaikuttaa katkoviivoin merkittyjen säteilyn aiheuttamien varjojen rajoihin. Ympyröidyistä suurennoksista nähdään, miten varren laskeminen nostaa *beam checkiä* ja korvatukikuvan kuulaa renkaan sisällä.



Kuva 48. Kefalostaatti, *beam check* ja korvatukikuva kefalostaattivarren laskemisen jälkeen

Tässä OPG:n kefalokuvaustilan testisuuntauksessa kefalostaatin laskeminen olisi todennäköisesti korjannut *beam checkin* sijainnin paremmaksi ja parantanut kuvan 46 (ks. s. 47) korvatukikuvaa (kuula renkaan sisällä olisi noussut hieman ylöspäin). Putkipään priimaarikollimaattorin aukon alarajaa olisi jouduttu laskemaan reilusti, sillä säteilykeila on jo ennen kefalostaatin laskemista valottunut heikosti alhaalta, ja varren laskeminen vain paljastaisi lisää heikosti valottunutta alaosa.

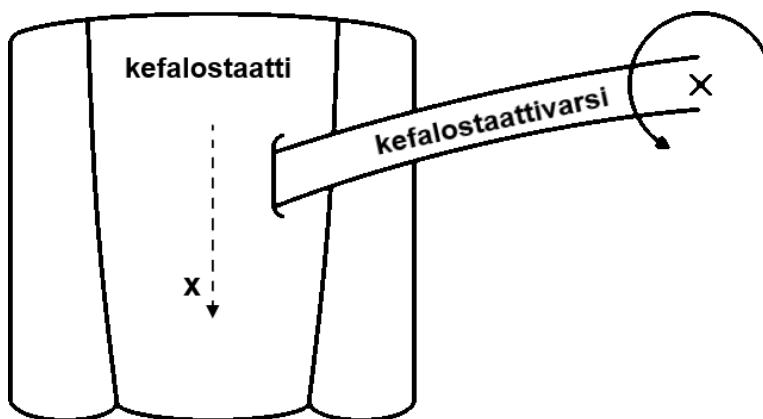
8.2.2 Kefalostaatin referenssisuuntaus

Kefalostaatin erillissuuntaus aloitettiin kiinnittämällä kefalostaatti referenssi-OPG:n runkoon. Suuntaus aloitettiin käytössä olevan menetelmän mukaisesti: kefalostaatista irrotettiin kaihdin ja korvatukiin kiinnitettiin suuntauslaser. Seuraavaksi kefalostaatti-

pöytä ja sensorin liitin säädettiin OPG:n kanssa suoraan. Tämän jälkeen suuntauslaser säädettiin osoittamaan merkitylle alueelle putkipäähän.

Kun kefalostaatti oli säädetty oikeaan asentoon, tarkasteltiin referenssi-OPG:ltä lähtevää sädekeilaa kefalostaattiin nähden fluorensisilevyjen avulla käytössä olevan suuntausmenetelmän mukaisesti. Referenssi-OPG:n kaihdinarvoista *beam right position* säädettiin sellaiseksi, että panoraamasensori ei varjosta sädekeilaa. Tämä arvo on kefalostaatista riippumatta sopiva, koska se on riippuvainen vain OPG:n suuntauksen muuttujista, kuten sensorin liittimen sijainnista, ja putkipään suuntauksesta ja asemoinnista.

Sädekeilan kohdistamiseksi vaaditaan mahdollisuus liikuttaa kefalostaattivartta kuvaustason x-suunnassa (kuva 49), sillä normaalisti se tehtäisiin säätämällä OPG:n C-vartta ja kaihdinta. Tässä testissä sädekeilan kohdistusta ei tarvinnut muuttaa, koska se oli oikeassa kohtaa. Tämä oli mahdollisesti sattumaa, mutta asiasta ei voida tehdä johtopäätöksiä yhden tapauksen perusteella.



Kuva 49. Kefalostaatin siirtäminen x-suunnassa vaatisi mahdollisuuden liikuttaa vartta kuvan mukaisesti

Säteen kohdistamisen jälkeen kefalostaatin kaihdin kiinnitettiin kefalostaattiin. Kaihdin esisäädettiin suoraan säteilyttämällä fluorenssia kaihtimen läpi. Tämän jälkeen kefalostaatin sensoriliittimeen kiinnitettiin sensori ja otettiin *beam check* -kuva. Tämän perusteella kaihdin hienosäädettiin suoraan.

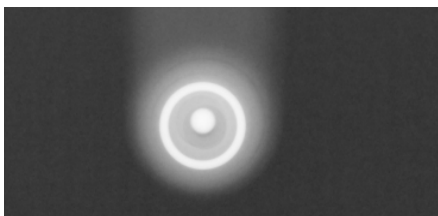
Suuntauksen jälkeen kefalostaatilla otettiin *beam check* -kuva (ks. kuva 50, seur. s.). Kefalostaatin *beam check* -kuvasta nähdään, että säde saatiin suoraan ja se on keskellä sekä

pysty- että vaakasuunnassa. *Beam check* -kuva saatiin paremmaksi kuin OPG:tä suunnattaessa (ks. kuva 45, s. 47), koska OPG on vaikeampi suunnata kefalostaatin mukaan kuin kefalostaatti OPG:n mukaan. *Beam check* on yläreunasta hieman vaalea, mikä johtuu liian matalasta OPG:n kaihdinaukosta. Tämä on helppo korjata säätämällä kefalokuvaustilan y-kollimaattorin arvoja.



Kuva 50. Suunnattavan kefalostaatin ja referenssi-OPG:n *beam check* -kuva

Beam checkin jälkeen koneella otettiin korvatukikuva (kuva 51). Kuvassa kuula ei kosketa rengasta, joten kuva on laatuvaatimusten mukainen.

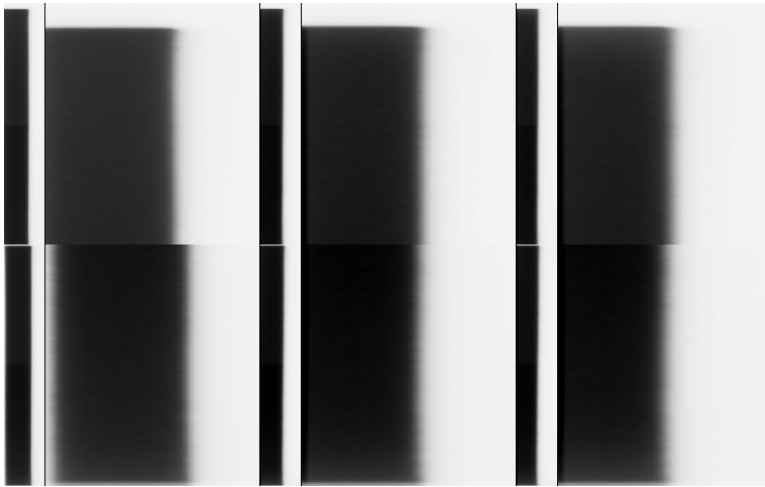


Kuva 51. Suunnattavan kefalostaatin ja referenssi-OPG:n korvatukikuva

8.3 Kefalostaatin asennus ja referenssisuuntaustestin tulokset

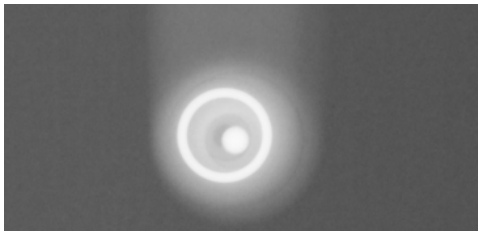
Kun kefalostaatti ja ortopantomografi oli suunnattu, ne irrotettiin referenssi kappaleistaan ja kiinnitettiin toisiinsa. Tämän jälkeen otettiin Device Tool -ohjelmalla *beam check*- ja korvatukikuvat.

Kuvassa 52 on referenssierillissuuntauksella suunnattujen OPG:n ja kefalostaatin *beam check* -kuva. Kuvasta nähdään, että *beam check* on suorassa mutta väärin kohdistunut.



Kuva 52. Suunnattavan kefalostaatin ja suunnattavan OPG:n *beam check* -kuva

Kuvassa 53 on referenssierillissuuntauksella suunnattujen OPG:n ja kefalostaatin korvatukikuva. Kuvasta nähdään, että korvatukikuvassa kuula on hieman sivussa, mutta hyväksytyn rajoissa.



Kuva 53. Suunnattavan kefalostaatin ja suunnattavan OPG:n korvatukikuva

Kun verrataan kuvia 52 ja 53 suunnattavan OPG:n toisiin kuviin (ks. kuvat 45, 46; s. 44–45), nähdään niiden olevan hyvin samanlaiset eri kefalostaateista huolimatta. Myös referenssi OPG:n kuvia 41, 42, 50 ja 51 (ks. s. 41, 48) verrattaessa nähdään, että ne ovat hyvin samanlaisia. Tästä voidaan päätellä, että suurin varianssi aiheutuu OPG:iden eroista, ei kefalostaattien.

Huomattavaa testissä oli myös se, että suunnattavan kefalostaatin suuntaaminen onnistui ilman referenssikoneen kaihtimen ja *C-arm*-arvojen säätöä tai niiden kompensoimista kefalostaatin puolella. Ennen suunnattavan kefalostaatin liittämistä referenssi-OPG oli

suunnattu yhdessä referenssi kefalostaatin kanssa. **Tästä voidaan päätellä, että OPG:n kollimaattorin kalibrointi-arvot ovat pääasiassa riippuvaisia OPG:stä itsestään, eikä esimerkiksi kefalostaatin varren valmistuksesta tai kefalostaatin kokoonpanosta aiheutuvista variansseista.** Muun muassa seuraavat asiat OPG:ssä vaikuttavat kollimaattoriarvoihin:

- putkipään kokoonpanossa tapahtuvan röntgenputken suuntauksen laatu
- röntgenlaitteen kalustusvaiheessa tapahtuva putkipään kiinnitys ja sen asemointi
- kollimaattorien erot, erityisesti kaihtimien sensorien kiinnityksen osalta
- olkavarren referenssilevyn säätäminen panoraamakuvauksen polttopistettä säädettäessä.

8.4 Referenssisuuntausmenetelmän arviointi

Testissä käytetyt kaksi ProMaxia ovat liian pieni otanta, jotta testistä voitaisiin tehdä yleistettäviä johtopäätöksiä. Kuitenkin saatiin selville asioita, jotka antavat suuntaa uuden suuntausmenetelmän suunnitteluun.

Alkuperäisessä muodossaan referenssiin perustuva suuntaus ei tuottanut merkittävän hyvää lopputulosta. Lopputulos täytti suuntausmenetelmälle asetetut neljä päätavoitetta vain osittain (ks. s. 3).

Erillisen suuntauksen tavoite onnistui jossain määrin. Referenssiin perustuva suuntausmenetelmä vaatisi kuitenkin OPG:n suuntaukseen referenssiksi kefalostaatin tai kefalostaattia vastaavan suuntaustyökalun. Tämä olisi hankalaa kefalostaattimoduulin suuren painon ja koon vuoksi, ellei vastaavasta suuntaustyökalusta saataisi sopivan kevyttä ja helposti käsiteltävää. Myös kefalostaatin suuntaaminen vaatisi referenssi OPG:n ja työtilat säteilyn käyttöön, mikä asettaisi toivottua vaativammat kriteerit tuotantolinjaa toteutettaessa.

Kefalostaattia ei saatu tuottamaan täysin laatuvaatimusten mukaisia kuvia isäntälaitteestaan riippumatta. *Beam check* -kuvissa valottuneen alueen sijainti poikkesi eri

ortopantomografiien välillä reilusti sivuttaissuunnassa ja hieman pystysuunnassa. Kefalostaattit saatiin kuitenkin suunnattua keskenään hyvin samanlaisiksi. Erityisesti kefalostaattien kaihtimet saatiin säädettyä hyvin yhdenmukaisesti putkipään ja fluorensisilevyjen avulla, minkä ansiosta *beam check* -kuvat olivat eri OPG–kefalostaatti-yhdistelmistä riippumatta suorassa.

Referenssiin perustuvalla suuntausmenetelmällä ei päästy suuntauksen laadussa samaan kuin nykyisellä suuntausmenetelmällä. *Beam check* -kuvioiden poikkeama laitteiden välillä oli liian suuri ollakseen hyväksyttävää. Korvatukikuvat poikkesivat myös toisistaan vaihdettaessa kefalostaattia OPG:stä toiseen, mutta pysyivät kuitenkin toleranssien sisällä.

Suuntauksen laatu oli kuitenkin parempaa verrattuna käytössä olevaan jälkiasennuskefalostaattien erillissuuntausmenetelmään. Tämä johtui siitä, että muun muassa kefalostaattipöydän orientaatiota tai kaihtimien hienosäätöä ei tehdä ollenkaan nykyisenmuotoisessa erillissuuntauksessa. Varsiston ja putkipään lisääminen nykyiseen kefalostaatin erillissuuntaustelineeseen mahdollistaisi tämän ja helpottaisi jälkiasennussarjojen asentamista huomattavasti.

Testattu menetelmä ei muuttanut merkittävästi kefalostaatin ja OPG:n yhteistä suuntausaikaa. Kefalostaatin suuntausaika väheni OPG:n kefalokuvaustilan kollimaattorikalibroiintiin kuluvan ajan verran mikäli näitä säätöjä ei jouduta, testin mukaisesti (kts. s. 50), kompensoimaan kefalostaattiin lisättävillä uusilla säätömahdollisuuksilla. OPG:n suuntausaika pitenisi uusien varsistoon lisättävien säätöjen vuoksi.

Osien yhteen laskettu suuntausaika siis jopa hieman nousisi, mutta kuormitus voitaisiin erillisen suuntauksen ansiosta jakaa kahdelle tuotantolinjalle. Tuotantoprosessin lyhenemisen vuoksi työskentely tehostuisi, ja voitaisiin saavuttaa jopa aikaisempaa lyhyempi läpimenoaika tuotteille.

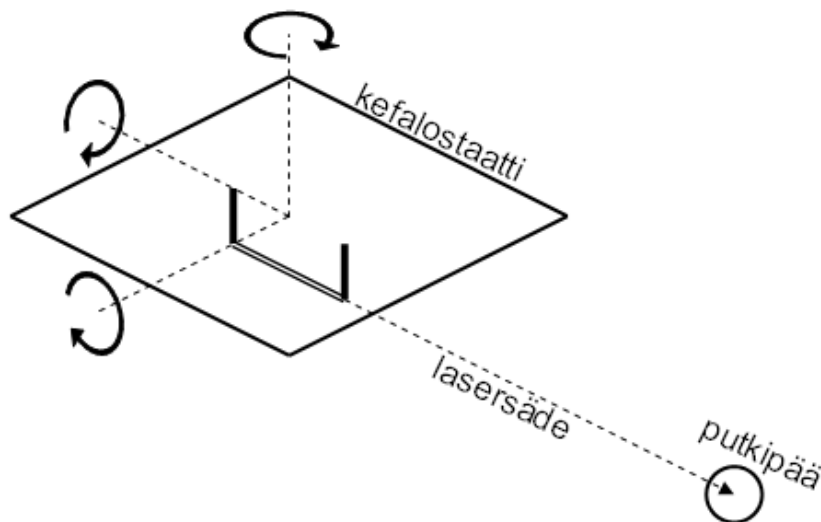
Testatun suuntausmenetelmän lopputuloksen laadun huomioon ottaen, vaadittavat muutokset koneen ohjelmistoon ja rakenteeseen vaikuttavat kohtuuttomilta. Muutokset vaativat tuotekehittelyä ja ne eivät olisi välttämättä yhteensopivia vanhojen tuotteiden

kanssa. Ennen referenssiin perustuvan erillissuuntauksen kehittämistä tulisi tutkia, päästäänkö vastaavaan laatuun pienemmillä muutoksilla, esimerkiksi kehittämällä nykyistä jälkiasennussarjojen erillissuuntausmenetelmää.

9 Linjalankasuuntaus

Linjalankasuuntauksen pääperiaatteena on röntgensäteilyn havainnollistaminen linjalangoilla. Kefalostaatti ja sen kaihdin voidaan suunnata ilman säteilyn käyttöä sensorilta putkipäälle kulkevien suorien lankojen avulla. Näin kefalostaatin suuntaamiseen ei tarvitse lyijyllä suojattua suuntauskoppia eikä tietokonetta.

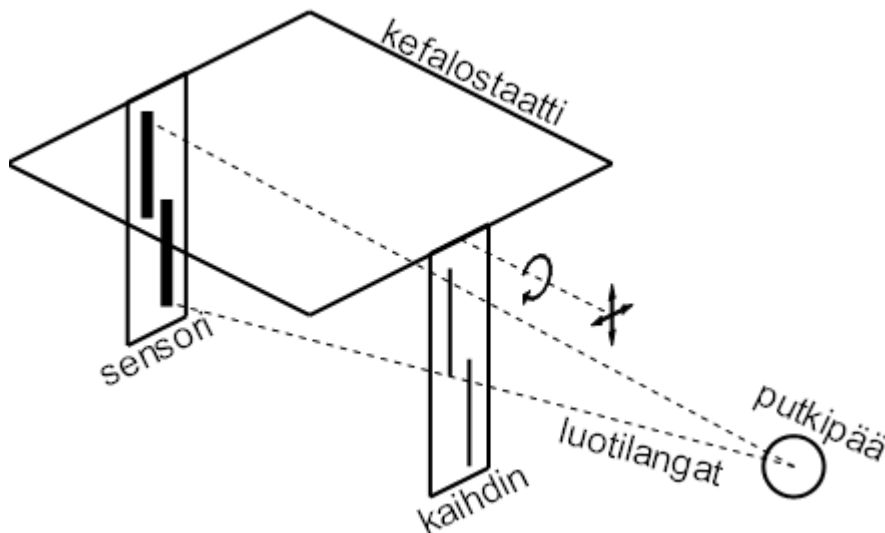
Linjalankasuuntauksessa kefalostaattipöytä kohdistetaan aluksi putkipäähän suuntauslaserilla ja asetetaan vaakatasoon vesivaa'alla nykyisen suuntausmenetelmän mukaisesti. Työvaihetta havainnollistetaan kuvalla 54, jossa kiertyvät nuolet havainnollistavat kolmen akselin ympäri tapahtuvaa kefalostaattipöydän kiertämistä kohdistuksessa. Nykyisessä suuntausprosessissa joudutaan käyttämään säteilyä tämän vaiheen jälkeen kefalostaatin kaihtimen asettelussa.



Kuva 54. Kefalostaatin kohdistaminen putkipäähän suuntauslaserin avulla.

Röntgenputkelta sensorille päätyvä säteily kulkee suoran linjan kefalostaatin kaihtimen läpi. Tämän viuhkamaisen säteen muodostamia linjoja käytetään kaihtimen oikean

asennon määrittämisessä linjalankojen avulla. Työvaihetta havainnollistetaan kuvalla 55, jossa 4-suuntainen nuoli ja kiertyvä nuoli kuvaavat kaihdinta suunnatessa tapahtuvaa siirtämistä ja kääntämistä. Kuvassa katkoviivoin merkityt kaksi linjalankaa kulkevat kuvasta poiketen kaihdinaukkojen ylä- ja alapäästä.



Kuva 55. Kaihtimen asettelu linjalankojen avulla

Menetelmää varten valmistetaan suuntausteline, joka mallintaa putkipään sijaintia kefalostaattiin nähden. Suuntaustelineeseen merkitään suuntauslaserille tähtäyspiste ja asetetaan linjalangoille kiinnityspisteet. Teline kalibroidaan nykyisellä suuntausmenetelmällä suunnatun kefalostaatin avulla

Telineessä kefalostaatti suunnataan menetelmää varten valmistetun suuntausvarren ja suuntaussensorin avulla. Näiden kahden välille ja kefalostaatin kaihdinaukkojen läpi viiritettiin linjalangat. Suuntaustelineen suunnittelussa otettiin huomioon sen soveltuminen SCARA2- ja SCARA3-kefalostaattien suuntaamiseen, mutta mahdollisuus kääntyvällä putkipäällä varustettujen koneiden suuntaamiseen otettiin myös huomioon. Kuvassa 56 (ks. seur. s.) on suuntausteline ja suuntaustyökalut.



Kuva 56. Suunnattava kefalostaatti suuntaustelineessä

Tässä erillissuuntausmenetelmässä ei oteta kantaa ortopantomografin kefalokuvaustilan tai muiden kefalostaattiin vaikuttavien asetusten suuntaamiseen. Menetelmässä oletetaan, että ProMaxin suuntauksessa laitteeseen kalibroidut oletusasetukset ovat niin tarkat, ettei kefalostaatin asentaja joudu tekemään merkittävästi enempää työtä asentaessa laitetta kuin nykyään.

9.1 Linjalankasuuntaustestin valmistelu

Menetelmän kokeilemiseksi tuli ensin suunnitella sen vaatimat työkalut. Tämän jälkeen suuntaustyökalut valmistettiin Planmecan prototyypipajassa. Valmiit työkalut kalibroitiin suuntaustestiä varten suunnattuja kalibroitikefalostaatteja käyttäen. Kalibroitikefalostaatit suunnattiin tuotannon käytössä olevalla suuntausmenetelmällä.

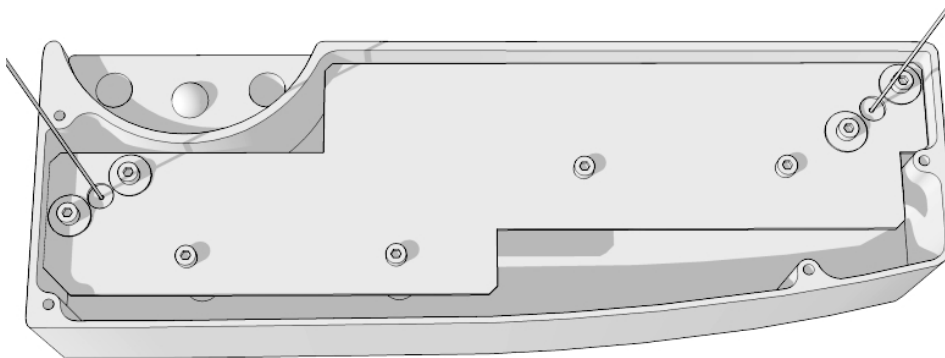
Linjalankasuuntauksessa kefalostaatit suunnataan samankaltaisessa suuntaustelineessä kuin jälkiasennuskefalostaatit suunnataan nykyään. Telineenä käytettiin ProMaxin runkokokoonpanoa, joka koostuu kiinteästä- ja liikkuvasta rungosta. Uutta suuntausmenetelmää varten valmistettu suuntausvarsi kiinnitettiin liikkuvan rungon potilastuen kiinnityksiin. Suunnattava kefalostaatti asetettiin normaalin kokoonpanoasennuksen mukaisesti liikkuvan rungon yläpähän.

Työtä varten suunniteltiin ja valmistettiin kaksi suuntaustyökalua, joista toinen oli kefalostaatin sensoriliittimeen kiinnitettävä suuntaussensori ja toinen suuntaustelineen runkoon kiinnitettävä suuntausvarsi. Suuntaussensoriin kiinnitettiin säätöpalojen välityksellä linjalangat, joiden kiinnityspistettä voitiin hienosäätää. Menetelmässä päädyttiin käyttämään kahta linjalankaa, koska vähintään kahdella linjalangalla kaihtimen asento voidaan määrittää yksiselitteisesti.

Suuntaussensorin langat kulkevat sensorilta putkipäälle ylemmän kaihdinaukon yläreunan ja alemman kaihdinaukon alareunan kautta. Lankojen ollessa kaihtimessa mahdollisimman kaukana toisistaan, suuntauksen tarkkuus on mahdollisimman hyvä. Suuntausvarren päähän asetettiin kalibrointilevy, johon rakennettiin myös säädettävät kiinnityspisteet linjalankoja varten. Linjalangat kiinnitettiin päistään suuntaussensorin ja kalibrointilevyn välille kulkemaan kefalostaatin kaihdinaukkojen läpi.

9.1.1 Suuntaussensorin valmistus

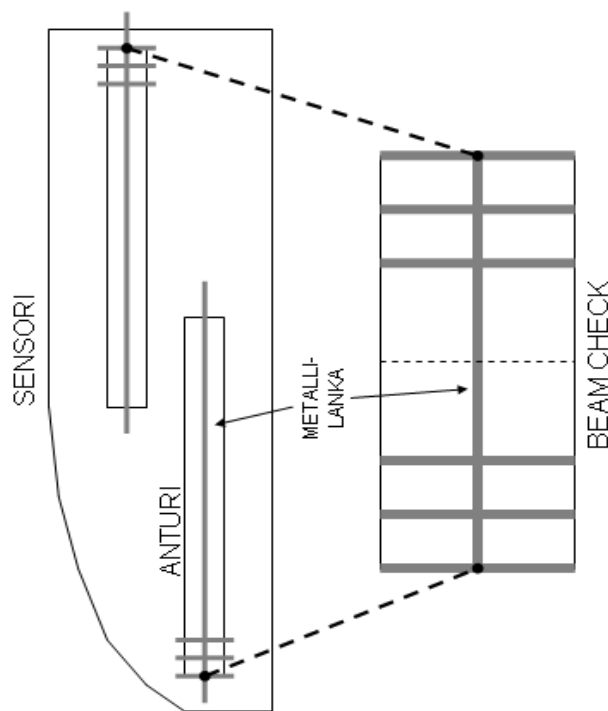
Suuntaussensori on linjalankasuuntausmenetelmää varten suunniteltu suuntaustyökalu. Linjalankojen avulla suunnatessa sen tehtävä on simuloida normaalin kuvaustilanteen sensoripäätä eli röntgensäteilyn päätepiistettä. Suuntaussensori rakennettiin Dimax4-sensorikoteloon ja se on kiinnitettävissä ProMax-kefalostaatin sensoriliittimeen. Röntgensäteilykeilaa kuvaavat linjalangat ovat kiinni suuntaussensorissa säätöpalojen ja vetojousien välityksellä. Kuvassa 52 on piirros suuntaussensorista ilman verhoiluosia. Kuvassa näkyy sensorikotelossa päällimmäisenä suuntaussensorin runkolevy, jonka alta näkyy linjalankojen tuloaukoista säätöpalat ja linjalangat.



Kuva 57. Suuntaussensori ilman verhoilua

Suuntaustyökalujen suunnittelu aloitettiin suuntaussensorista. Ensin määritettiin oikeat pisteet säteilyn kuvaamiseen käytettyjen linjalankojen kiinnittämiseen. Tätä varten sensorin anturien aktiivisen alueen keskikohta leveyssuunnassa sekä ylä- ja alarajat tuli saada selville.

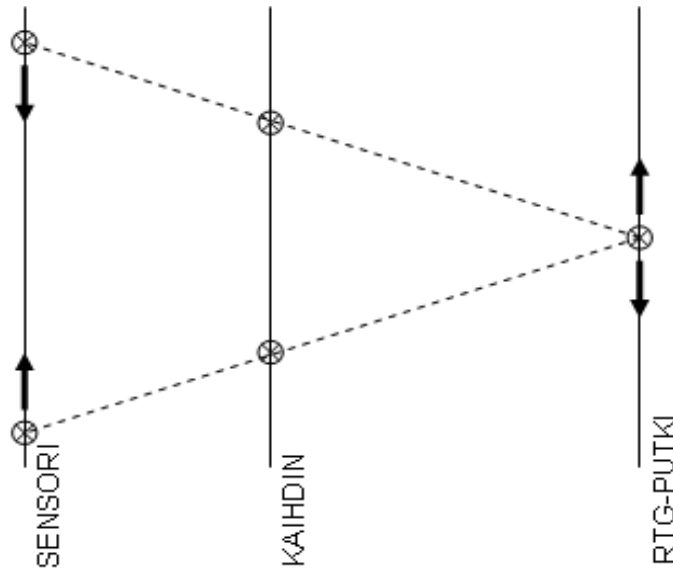
Aktiivisen alueen rajat selvitettiin teippaamalla metallilankaa sensorin antureihin ja tarkastelemalla niiden sijaintia *beam check* -kuvissa. Kuvassa 58 on esitetty kaavakuvana antureiden äärialueiden selvittämiseen käytetty tutkimusasetelma, johon vaalean harmaalla merkitty metallilankoja kuvaavat viivat sensorilla ja Device Tool -ohjelman *beam check*issä.



Kuva 58. Antureiden äärialueiden selvittämiseen käytetty tutkimusasetelma

Aktiivisen alueen ylä- ja alarajat sijaitsivat fyysisesti aivan antureiden ylä- ja alapäässä. Myös aktiivisen alueen sivusuuntainen keskipiste sijaitsi karkeasti fyysisten mittojen keskikohdassa. Anturikomponentin pinta-ala on siis käytetty hyvin tehokkaasti hyödyksi.

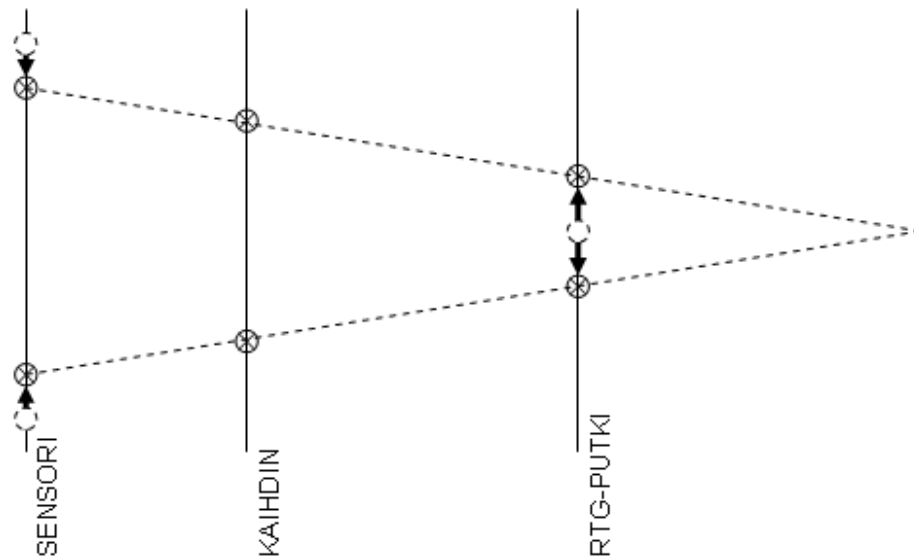
Linjalankoja ei kuitenkaan voitu kiinnittää suoraan anturialueiden ääripisteisiin, koska muuten niiden kiinnityspisteet säteilylähteen päässä olisivat olleet kiinnitysetäisyydellä käytännön näkökulmasta hankalan lähellä toisiaan (kuva 59).



Kuva 59. Kaavakuva linjalankojen kulkureiteistä antureiden ääripäihin kiinnitettyinä

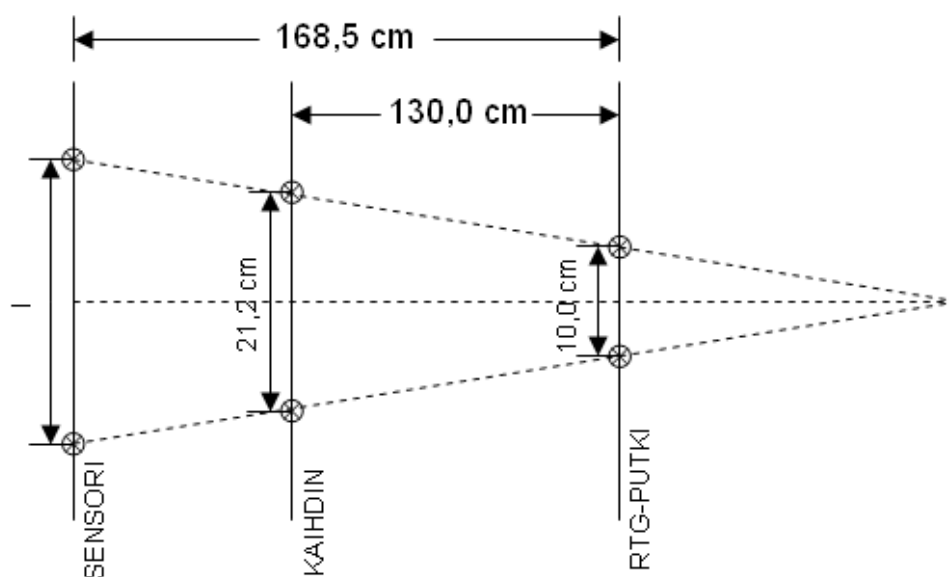
Kuvassa 59 katkoviivoilla merkityt linjalangat kulkevat samaa reittiä kuin antureiden ääripäihin putkipäältä saapuva röntgensäteily. Kaavakuvasta nähdään kuinka linjalankojen kiinnityspisteet olisivat yhdessä pisteessä röntgenputken etäisyydellä. Tällöin säätövarallisten kiinnityspisteiden rakentaminen olisi hyvin hankalaa. Ongelmaa ei voida ratkaista siirtämällä linjalankojen kiinnityspistettä lähemmäksi sensoritasoa, koska tällöin linjalankojen liikerata ei toimisi kefalostaatin sensori- ja kaihdinkelkkojen synkronoinnin kanssa.

Linjalankojen linjan leikkauspistettä röntgenputken tasolla siirrettiin etäämmäksi toisistaan siirtämällä kuvan 59 nuolien mukaisesti sensoritason leikkauspisteitä lähemmäksi toisiaan. Kuten kuvasta 60 (ks. seur. s.) nähdään, näin tekemällä linjalankojen linjojen ja röntgenputken tason leikkauspisteet siirtyvät etäämmäksi toisistaan, suuntaussensorin ja kalibrointilevyn kiinnityspisteiden pysyessä yhtä etäällä toisistaan.



Kuva 60. Kaavakuva linjalankojen kulkureiteistä optimoiduilla kiinnityskohdilla

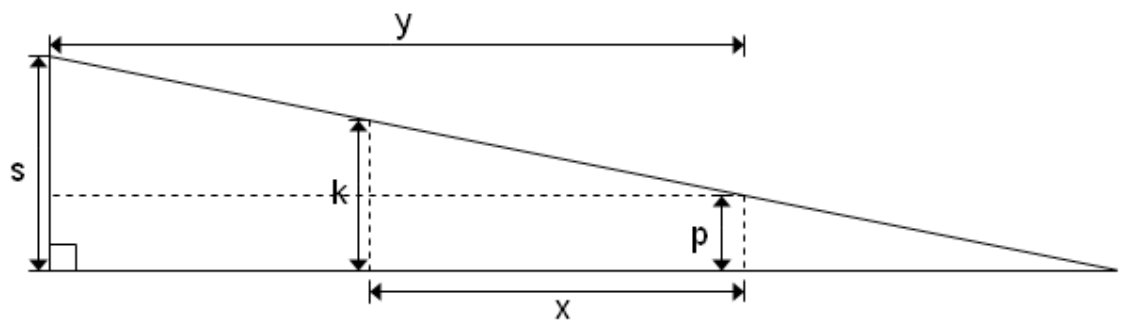
Päätettiin että kiinnityspisteiden sopiva etäisyys kalibrointilevyssä olisi karkeasti 10 cm. Tämän perusteella linjalankojen kiinnityspisteet suuntaussensoriin määritettiin laske-
malla. Tätä varten selvitettiin röntgensäteilylähteen etäisyys kefalostaatin kaihtimeen ja antureiden pintaan. Röntgenputken fokuksen ja kefalostaatin kaihtimen etäisyydeksi mi-
tattiin 130 cm. Fokuksen ja anturin väliseksi etäisyydeksi mitattiin 168,5 cm. Lisäksi
mitattiin kefalostaatin kaihtimen ylemmän kaihdinaukon yläpään ja alemman kaihdinau-
kon alapään etäisyys. Näiden etäisyydeksi saatiin 21,2 cm. Kuvassa 61 mitat on sijoitet-
tuna kaavakuvaan.



Kuva 61. Mitatut etäisyydet sijoitettuna linjalankojen kulkureittejä kuvaavaa kaavakuvaan

Käytännössä linjalankojen kulkureitit eivät muodosta tasakylkistä kolmiota, mutta yllä olevan kuvan yksinkertaistettua mallia voidaan käyttää suuntaussensorin kiinnityspisteiden paikkojen määrittämisessä riittävän tarkasti. Kuvassa kiinnityspisteiden etäisyyttä toisistaan sensorin tasossa on merkitty l :llä.

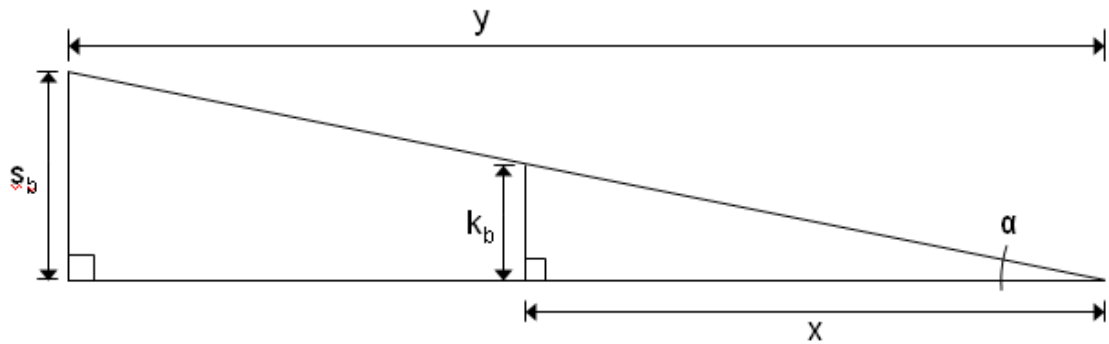
Koska linjalankojen ja sensoritason oletetaan muodostavan tasakylkinen kolmio, se voidaan jakaa kahteen suorakulmaiseen kolmioon sensoritason muodostaman sivun keskipisteestä lähtevällä normaalilla. Näin saadaan kuvan 62 mukainen suorakulmainen kolmio.



Kuva 62. Linjalankojen kiinnityspisteiden määrittämistä varten muodostettu suorakulmainen kolmio

Edellisessä kuvassa y on putkipään ja sensorin etäisyys (168,5 cm), ja x on putkipään ja kaihtimen etäisyys (130,0 cm). Koska kuvan 61 tasakylkinen kolmio jaettiin kahteen samanlaiseen suorakulmaiseen kolmioon, p on puolet kalibrointilevyn kiinnityskohtien etäisyydestä toisistaan (5,0 cm), k on puolet kaihtimen ääripäiden etäisyydestä toisistaan (10,6 cm), ja s on puolet l :stä.

Sivun s ratkaisemiseksi edellisen kuvan mukaisesta kolmiosta rajataan pienempi suorakulmainen kolmio vaakasuoran katkoviivan mukaisella viivalla, jotta laskentaa varten saadaan yksi sivu, jonka pituus tunnetaan. Tällöin saadaan kuvan 63 (ks. seur. s.) mukainen suorakulmainen kolmio.



Kuva 63. Sivun s_b ratkaisemiseksi muodostettu suorakulmainen kolmio

Edellisen kuvan suorakulmaisen kolmion sisältä voidaan rajata pienempi suorakulmainen kolmio, josta tunnetaan sivu x . Sivun k_b voidaan ratkaista yhtälöllä 3.

$$\begin{aligned} k_b &= k - p \\ k_b &= 10,6 \text{ cm} - 5,0 \text{ cm} \\ k_b &= 5,6 \text{ cm} \end{aligned} \tag{3}$$

Seuraavaksi ratkaistiin $\tan \alpha$ sivujen k_b ja x avulla yhtälöä 4 käyttäen.

$$\begin{aligned} \tan \alpha &= \frac{k_b}{x} \\ \tan \alpha &= \frac{5,6 \text{ cm}}{130,0 \text{ cm}} = \frac{5,6}{130,0} \end{aligned} \tag{4}$$

Tämän jälkeen voitiin ratkaista suuremman kolmion sivun s_b pituus yhtälöllä 5.

$$\begin{aligned} \tan \alpha &= \frac{s_b}{y} \\ s_b &= y * \tan \alpha \\ s_b &= 168,5 \text{ cm} * \frac{5,6}{130,0} \\ s_b &\approx 7,26 \text{ cm} \end{aligned} \tag{5}$$

Lopuksi linjalankojen kiinnityspisteiden etäisyys toisistaan suuntaussensorissa voitiin laskea yhtälöllä 6.

$$\begin{aligned}
 l &= 2 * s \\
 l &= 2 * (s_b + p) \\
 l &= 2 * (7,26 \text{ cm} + 5,0 \text{ cm}) \\
 l &\approx 24,5 \text{ cm}
 \end{aligned}
 \tag{6}$$

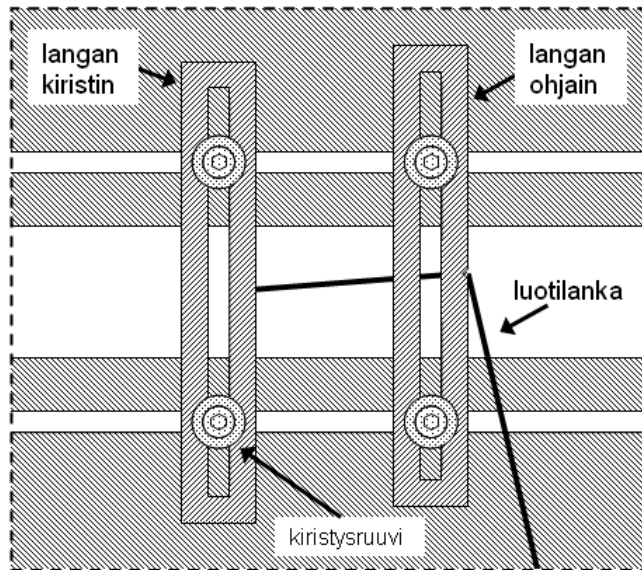
Mittojen avulla voitiin merkitä linjalankojen kiinnityksille paikat suuntaussensoriin kiinnitystä varten. Lankojen kiinnityspisteisiin rakennettiin säätöpalat, joilla pystytettiin pienellä säätövaralla hienosäätämään linjalangan kiinnityskohtaa sensorissa.

Koska sensorin ja kalibrointilevyn etäisyys vaihtelee noin yhden senttimetrin marginaalissa sensori- ja kaihdinkelkkojen liikkuessa kiskoillaan, linjalangat kiinnitettiin suuntaussensorin säätöpaloihin vetojousien välityksellä, jotka pitävät linjalangat suorana kelkkojen asennosta huolimatta. Liitteessä 1 on räjäytyskuva suuntaussensorista, johon on merkitty osien nimet.

9.1.2 Suuntausvarren valmistus

Linjalangoilla suunnattaessa suuntaustelineen runkoon kiinnitettävä suuntausvarsi mallintaa röntgensäteilyn lähtöpistettä kuvaustilanteessa. Suuntausvarsi ojentuu putkipään sijaintia kohti suuntaustelineen liikkuvasta rungosta. Varren pituus määritettiin karkeasti mittaamalla ProMaxin putkipään ja rungon etäisyys. Mittaukset suoritettiin varsiston ollessa kefalokuvaustilassa SCARA2- ja SCARA3-laitteilla sekä kääntyvällä putkipäällä varustetulla laitteella. Näistä jokaisessa ProMax ajaa olkavarren eri asentoon, mikä tuli ottaa huomioon suuntausvarren suunnittelussa monikäyttöisyyden takaamiseksi.

Koska linjalankojen kiinnityspisteiden määrittäminen kiinteästi oikeaan kohtaan suuntausvarressa olisi ollut käytännössä hyvin hankalaa, linjalankojen asemointia varten suuntausvarren päähän valmistettiin säätölevy. Levyyn tehtiin kaksi päällekkäistä vaakasuoraa kiskoa, toinen ylemmää linjalankaa ja toinen alemmaa linjalankaa varten. Kumpaakin kiskoon kiinnitettiin kuvan 64 (ks. seur. s.) mukaisesti kaksi säätöpalaa kutakin linjalankaa kohden: toisella säädettiin langan kiinnityskohdan sijainti ja toisella langan kireys.



Kuva 64. Yhden linjalangan säätöpalat säätölevyssä

Linjalanka pujotetaan langan ohjaimessa olevaan uraan ja sen pää kiinnitetään langan kiristimeen. Langan ohjaimen säätöalue on pystysuunnassa 25 millimetriä. Koska putkipään sijainti kalibrointilevyn tasolla vaihtelee vaakasuunnassa SCARA2-, SCARA3- ja kääntyvä putkipäisten ProMaxien välillä, levystä ja säätöpalojen kiskoista tehtiin tarpeeksi leveät jokaisen konetyypin suuntaamiseen. Linjalangan kireyttä pystytään säätämään siirtämällä langan kiristintä etäämmäksi langan ohjaimesta.

Kuvassa 65 on valmis suuntausvarsi, johon on kiinnitetty linjalangat SCARA3-kefalostaatin säätöpaloihin. Kuvan säätölevyssä on kahdelle konetyypille kiinnityspisteet: vasemmalla on SCARA3:n ja oikealla SCARA2:n kiinnityspisteet.



Kuva 65. Suuntausvarsi

9.1.3 Suuntausvarren kalibrointi

Ensimmäiseksi suunnattiin kefalostaatti, jota käytettiin menetelmässä käytettävän suuntaustelineen kalibrointiin SCARA3-kefalostaateille. Kalibrointikefalostaatti suunnattiin SCARA3-varrellisen ProMaxin avulla käytössä olevan suuntausmenetelmän mukaisesti.

Suuntauksen jälkeen kefalostaatti kiinnitettiin suuntaustelineeseen. Suuntaustelineen kalibrointi aloitettiin säätämällä kefalostaatin varren yläpää yhdensuuntaiseksi liikkuvan rungon yläreunan kanssa. Myös suuntausvarsi ja siihen kiinnittyvä linjalankojen säätölevy asetettiin suoraan kiinnityskohdistaan suuntaustelineen rungon mukaisesti vesiväakaa käyttäen. Tämän jälkeen kefalostaattiin kiinnitettiin suuntaussensori, johon kiinnitetyt linjalangat pujotettiin kefalostaatin kaihtimen läpi. Lankojen toiset päät kiinnitettiin suuntausvarren säätölevyyn.

Kalibroinnin aluksi lankojen kiinnitykset suuntaussensorissa säädettiin linjalankojen säätöpalojen säätöalueen keskelle, niin että säätövaraa jäi suunnilleen yhtä paljon kuhunkin suuntaan. Ensimmäiseksi kefalostaatin sensori- ja kaihdinkelkat asetettiin keski-asentoon. Suuntausteline kalibroitiin säätämällä suuntausvarren langan ohjaimia pystysuunnassa, niin että ylempi lanka hipoi kefalostaatin kaihtimen ylemmän aukon yläreunaa ja alempi lanka hipoi alemman kaihdinaukon alareunaa. Lankojen ohjaimet säädettiin vaakatasossa niin, että langat kulkivat kaihdinaukkojen keskeltä.

Linjalankojen kiinnitys säädettiin suuntaustelineen päästä niin, että kefalostaatin sensorikelkan liikkeessä kiskoja päästä toiseen, lankojen vetojousien liikkumavara ei loppunut kesken ja ne pysyivät suorassa koko matkalla. Lopuksi kefalostaattiin asetettiin suuntauslaser ja sen osoittamaan kohtaan merkittiin suuntausvarren levyn pintaan ympyrä, johon laserin tulisi osua.

9.2 Linjalankasuuntaustesti

Tutkimuksessa tehtiin selvitys erillissuuntausmenetelmästä ja sen vaikutuksista kahteen työvaiheeseen: tuotannossa tapahtuvaan kefalostaatin suuntaukseen ja asiakkaan luona

tehtävään kefalostaatin asennukseen. Testejä suoritettiin SCARA3- ja SCARA2-varsis-
tollisille ProMaxeille ja niiden kefalostaateille

Suuntausta testattiin suuntaamalla erillisiä kefalostaatteja suuntaustelineellä, jonka jäl-
keen ne lastattiin kärryihin odottamaan asennusta. Työvaiheessa tutustuttiin uuden suun-
tausmenetelmän käyttöön, ja arvioitiin sen asettamia haasteita ja vaatimuksia tuotannon
työntekijälle.

Suuntauksen laadun tarkastamiseksi kefalostaatit asennettiin suuntauksen jälkeen Pro-
Max-laitteeseen ja niillä otettiin testikuvia. Työvaiheessa arvioitiin myös uuden mene-
telmän vaikutuksia asentajan työhön. Siinä pyrittiin hiomaan asennusprosessista mah-
dollisimman tehokas, mutta lopputulokseltaan laadukas.

9.2.1 SCARA3-kefalostaatin linjalankasuuntaus

Kaikki testissä erillissuunnatut kefalostaatit suunnattiin seuraavaksi kuvaillun prosessin
mukaisesti. SCARA3- ja SCARA2-kefalostaateille käytettiin suuntaustelineen varsisto-
tyyppikohtaisia asetuksia.

Suuntaustyö aloitettiin kiinnittämällä kefalostaatti suuntaustelineeseen. Ensimmäiseksi
kefalostaatin varsi asetettiin vaakatasoon telineen liikkuvan rungon yläreunan kanssa
vesivaakaa käyttäen. Tämän jälkeen kefalostaattiin kiinnitettiin suuntauslaser, joka täh-
dättiin kefalostaattipöytää säätämällä suuntausvarren kalibrointilevyyn merkittyyn var-
sistotyypikohtaiseen ympyrään.

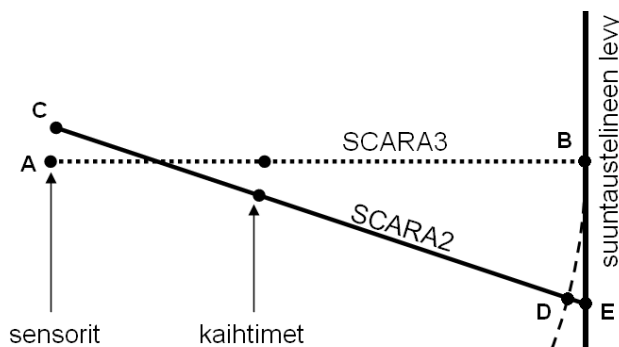
Kefalostaattipöydän kallistus kaihdin- ja sensorikelkkojen kiskojen suuntaisesti säädet-
tiin samansuuntaiseksi suuntaustelineen tolpan yläreunan kanssa. Seuraavaksi tarkistet-
tiin kiskojen vaakasuoruus kefalostaattipöytään nähden sekä niiden kulmien yhdensuun-
taisuus. Tämän jälkeen liittimen ja kaihtimen rungot säädettiin kohtisuoraan kefalostaat-
tipöytään nähden. Myös sensorin kiinnitystapit säädettiin liittimen kanssa suoraan. Lo-
puksi sensori- ja kaihdinkelkkojen synkronointi tarkistettiin.

Kefalostaattipöydän suuntaamisen jälkeen liittimeen kiinnitettiin suuntaussensori. Suuntaussensorin langat pujotettiin kaihdinaukkojen läpi ja kiinnitettiin suuntausvarteen suunnattavan kefalostaatin varsistotyyppin mukaiseen kiinnityspisteeseen. Kaihdin- ja sensorikelkat siirrettiin keskelle kefalostaattia. Tämän jälkeen kaihtimen lapaa kääntämällä ja siirtämällä se säädettiin niin, että ylempi lanka oli ylemmän kaihdinaukon ylä-laidasta yhtä etäällä kuin alempi lanka oli alemman kaihdinaukon alareunasta. Lisäksi linjalankojen tuli olla sivusuunnassa keskellä kaihdinaukkoja.

9.2.2 SCARA2-kefalostaatin linjalankasuuntaus

Menetelmää testattiin myös SCARA2-varsistollisiin ProMaxeihin, koska suuntausteline suunniteltiin mahdollistamaan myös SCARA2-laitteiden suuntaus. Suuntausteline suunniteltiin kuitenkin pääasiassa SCARA3-laitteiden ehdoilla, tämän ollessa yleisempi konetyyppi.

Suuntausvarren kalibrointia SCARA2-kefalostaatteja varten suunnattiin SCARA2-kalibrointikefalostaatti. Kefalostaatti asetettiin suuntaustelineeseen, mutta se osoittautui epäsovivaksi SCARA2-laitteiden suuntaukseen. Linjalankojen sopivat kiinnityspisteet eivät olleet säätövarojen puitteissa suuntausvarren levyllä asetetuissa kiinnityskohdissa. Tämä johtui siitä, että matka sensorilta suuntauslevylle ei ollut sama kuin SCARA3-laitetta suunnattaessa.

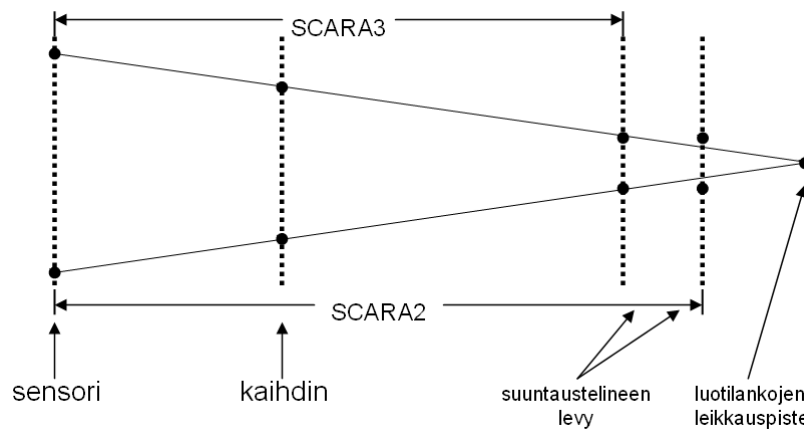


Kuva 66. SCARA2- ja SCARA3-koneiden linjalankojen pituuserot ylhäältä päin

Kaavakuvasta (kuva 66) nähdään menetelmää varten valmistetulla suuntaustelineellä suunnattaessa syntynyt tilanne. Suuntauslevyn asennosta ja rakenteesta sekä SCARA2 ja SCARA3:n linjalankojen kiinnityskohtien sijainnista johtuen, SCARA2:n linjalanka

(kuvassa 66 jana CE, ks. ed. s.) kulkee pidemmän matkan sensorilta suuntaustelineen levylle kuin SCARA3:n linjalanka (kuvassa 66 jana AB, ks. ed. s.).

Kuvasta 67 nähdään kuvan 66 (ks. ed. s.) janojen AB ja CE pituuserojen vaikutukset linjalankojen kiinnityspisteiden sijaintiin suuntaustelineen levyllä. Linjalangat eivät osu suuntauslevyn tasoon mustilla pisteillä merkittyihin linjalangan kiinnityskohtiin SCARA2-kefalostaattia suunnattaessa.



Kuva 67. Sivuprojektio linjalankojen linjoista suuntausasetelmassa

Suuntaustelineen säätölevyn ollessa liian kaukana sensorista, levyyn suunnitellut kiinnityspisteet ovat liian etäällä toisistaan. Lisäksi kiinnityspisteiden ollessa eri etäisyydellä kuin säteilylähde, röntgensäteilyä kuvaavat linjalangat eivät liiku samaa tahtia kaihtimen kanssa, kun kaihdin- ja sensorikelkkoja liikutetaan kefalostaatin kiskoja pitkin.

Jotta SCARA2:sta suunnattaessa sensorin ja linjalangan kiinnityspisteen etäisyys olisi sama kuin SCARA3:sta suunnattaessa, telineen levyn tulisi kaartua kuvaan 66 (ks. ed. s.) katkoviivalla merkityn ympyrän kaaren mukaisesti, jonka keskipiste on janojen AB ja CD leikkauspisteessä ja säde janan AB pituinen.

Suuntaustelineen levy voitaisiin asettaa myös niin, että se kulkee suorana kuvaan 66 (ks. ed. s.) merkittyjen pisteiden B ja D kautta. Suuntausteline on kuitenkin suunniteltu myös kääntyvällä putkipäällä varustettujen ProMaxien suuntaamiseen, jota varten suuntaustelineen levyssä on kolmas kahdesta muusta kiinnityskohdasta poikkeava kiinnitys-

kohta. Tämän vuoksi pelkästään pisteiden B ja D kautta kulkeva levy ei olisi oikealla etäisyydellä kääntyvällä putkipäällä varustettua konetta suunnatessa.

Suuntaustelineen käyttöä ja linjalankojen kiinnityspisteitä soveltamalla, sillä kuitenkin pystyttiin erillissuuntaamaan SCARA2-kefalostaatti. Asennettuna kefalostaatin kuvanlaatua määrittävät kuvat eivät yltäneet laadullisesti SCARA3-kefalostaattien koeasennuksien tasolle. Tämä todennäköisesti johtui edellä mainituista suuntaustelineen käyttöongelmista. Suuntauksen laatu ei kuitenkaan ollut täysin suuntaamattoman kefalostaatin laatuinen. Erillissuunnatun SCARA2-kefalostaatin asennustyö vei huomattavasti vähemmän aikaa kuin suuntaamattoman kefalostaatin asentaminen.

9.3 Kefalostaattien asentaminen ja linjalankasuuntaustestin tulokset

Suuntaustelineen kalibroimiseen käytetty ja uudella suuntausmenetelmällä suunnatut kefalostaatit asennettiin ProMaxiin, jota ei oltu suunnattu siihen asennettavien kefalostaattien kanssa. Työvaiheella tutustuttiin uudella menetelmällä suunnatun kefalostaatin asentamiseen ja arvioitiin suuntauksen laatua. Suuntauksen laatua arvioitiin kefalostaatin asentamisen jälkeen otetuilla *beam check*- ja korvatukikuvilla.

9.3.1 Kalibrointikefalostaatin asennus

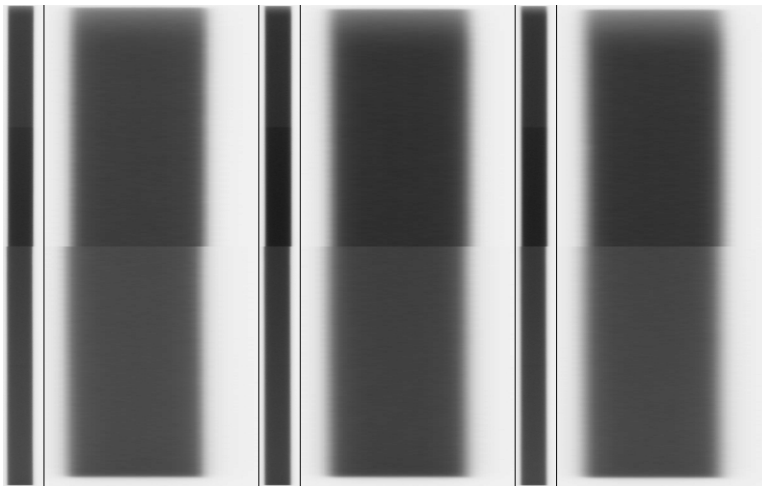
Aluksi ProMaxiin asennettiin SCARA3-kalibrointikefalostaatti. Sillä voidaan arvioida pelkästään asennustyötä ja sen vaikutuksia kuvan laatuun, koska se on käytössä olevalla suuntausmenetelmällä suunnattu toimivaksi.

Ensimmäiseksi telineen kalibrointiin käytetty kefalostaatti kiinnitettiin ProMaxiin, josta vain panoraamakuvaustila oli suunnattu. Kefalostaatin kaihdin irrotettiin ja OPG:n kefalostaattitilan kaihdinarvot kalibroitiin käytössä olevan menetelmän mukaisesti fluorensisilevyjen avulla.

Tämän jälkeen kefalostaattiin kiinnitettiin suuntauslaser, jonka avulla kefalostaattivarren korkeus säädettiin niin, että laserpiste oli suuntaustelineen tähtäysmerkin

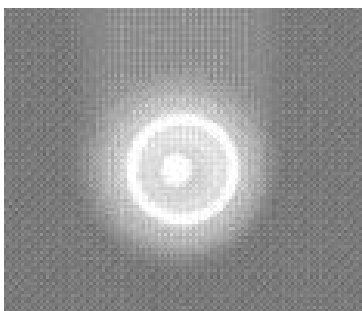
korkeudella. Kefalostaatin kiinnityksen jälkeen laser ei osunut sivuttaissuunnassa merkkiin vaan oli useita senttejä sivussa. Tästä huolimatta päätettiin ottaa koekuvat ilman kefalostaatin kääntämistä.

Kefalostaattiin liitettiin kaihdin ja sensori, jolla otettiin myös suuntaustelineen kalibroimiseen käytetyn kefalostaatin kuvat. Tämän jälkeen koneella otettiin *beam check* -kuva (kuva 68).



Kuva 68. Asennetun kalibrintikefalostaatin *beam check* -kuva

Beam checkin jälkeen kefalostaattiin kiinnitettiin korvatuet ja otettiin korvatukikuva. Kuvassa 69 on asennetun kalibrintikefalostaatin korvatukikuva.



Kuva 69. Asennetun kalibrintikefalostaatin korvatukikuva

Kuvasta 69 nähdään, että laserin väärästä osumakohdasta huolimatta, korvatukikuva täyttää laatuksiteerit. *Beam checkin* laadusta ei voida tehdä johtopäätöksiä uuden suuntausmenetelmän puolesta, koska kalibrintikefalostaatti suunnattiin nykyisellä

suuntausmenetelmällä. Kuvia 68 ja 69 (ks. ed. s.) voidaan verrata myöhemmin suuntaustelineellä suunnatun kefalostaatin kuviin.

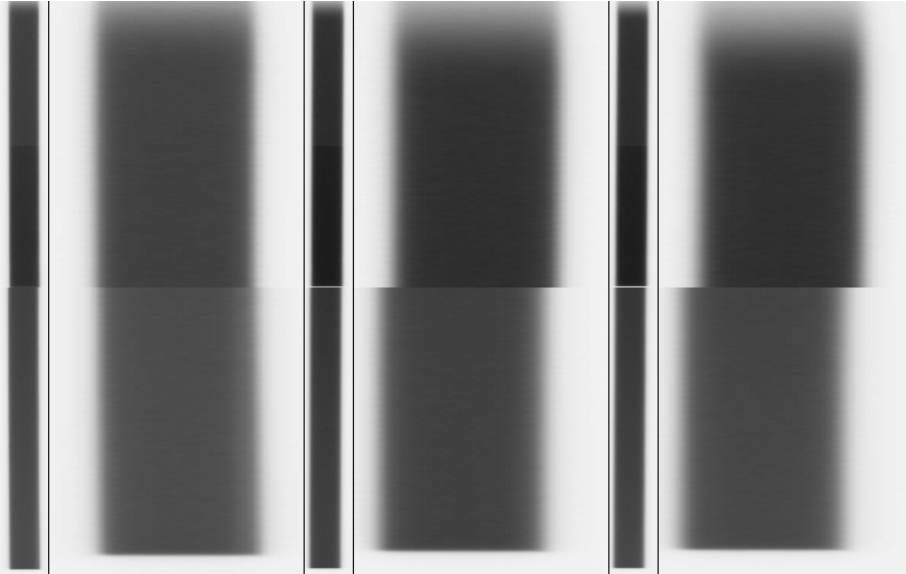
On kuitenkin huomattavaa, että kuvassa 68 (ks. ed. s.) säde sijaitsee keskellä kuva-aluetta, sillä referenssisuuntauksen testauksessa huomattiin pelkästään OPG:n vaihtamisen voivan aiheuttaa *beam checkin* siirtymisen sivulle (ks. s. 47).

9.3.2 Suunnattujen kefalostaattien asennus

Tutkimuksessa suunnattiin kaksi SCARA3-kefalostaattia linjalankasuuntauksella joista molemmat koeasennettiin. Kummassakin tapauksessa laitteet asennettiin samaan Pro-Maxiin kuin suuntaustelineen kalibrointikefalostaatti edellisessä alaluvussa.

Kefalostaatit asennettiin kukin hieman eri tavalla erilaisia asennustapoja tutkien. Kahdella kefalostaatilla voitiin tutkia hyvän suuntauksen laadun toistettavuutta, ja saatiin lisätietoa suuntaus- ja asennustyön vaikutuksista ja vaatimuksista. Testeillä saatiin hieman vaihtelua kuvien laatuun, minkä avulla voitiin määrittää suuntaustyön kannalta merkittäviä asioita ja niiden toleransseja.

Aluksi kalibrointikefalostaatti irrotettiin koneesta ja tilalle kiinnitettiin erillissuunnattu SCARA3-kefalostaatti. Ensimmäinen erillissuunnattu kefalostaatti asennettiin ilman mekaanisia säätöjä. Kiinnittämisen jälkeen liittimeen asetettiin aikaisemmissakin vaiheissa käytetty sensori. Kefalostaattivarren korkeuden säätö jätettiin samaan asentoon kuin se oli kalibrointikefalostaatin asennuksessa. Laitteella otettiin *beam check* -kuva (kuva 70, ks. seur. s.).

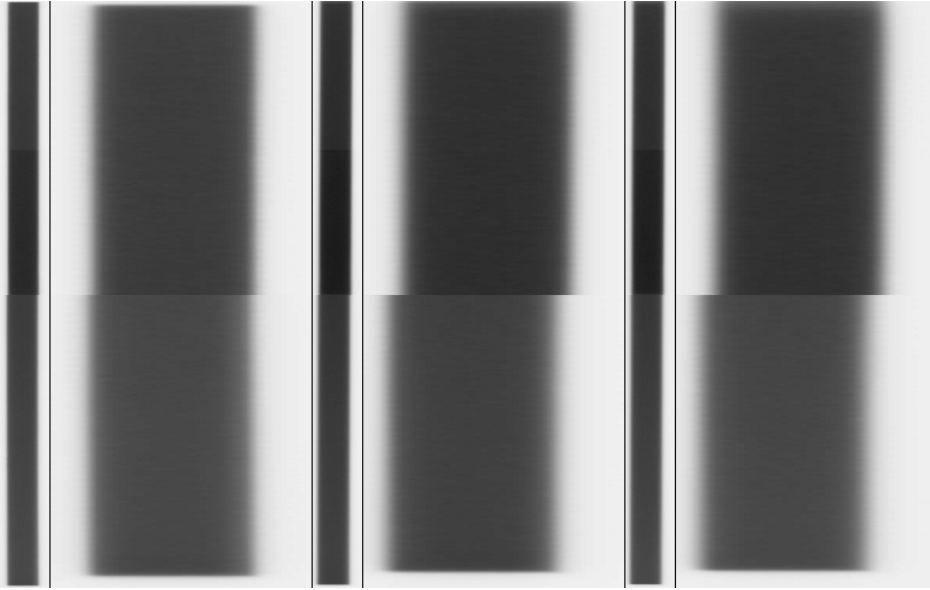


Kuva 70. Ensimmäisen linjalangoilla suunnatun kefalostaatin *beam check*

Kuvasta nähdään, että valottunut keila on yläpäästä sensorin aktiivisen alueen ulkopuolella, ja keilan yläosassa näkyy myös varjoa. Jos verrataan kuvan 70 *beam checkiä* kuvan 68 (ks. s. 71) *beam checkiin*, nähdään että molemmat ovat liian ylhäällä sensori-alueessa ja yläosastaan huonosti valottuneita.

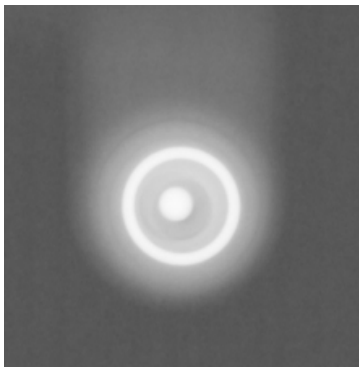
Kefalostaattivarsi asetettiin tätä ensimmäistä erillissuunnattua kefalostaattia testattaessa samalle korkeudelle kuin kalibrointikefalostaatin varsi asetettiin kuvia otettaessa. Tästä voidaan päätellä, että jos varsi olisi säädetty alemmaksi kalibrointikefalostaatin kuvia otettaessa, niin että kuvan 68 (ks. s. 71) *beam check* olisi ollut keskellä korkeussuunnassa, olisi kuvan 70 *beam check* ollut laadullisesti parempi.

Koska keila oli vain hieman sensorin aktiivisen alueen ulkopuolella, keilaa siirrettiin alaspäin nostamalla kefalostaattivartta. Valottuneen alueen ylälaidan varjo poistettiin siirtämällä OPG:n kefalostaattitilan kollimaattoreita hieman ylöspäin. Säättöjen jälkeen laitteella otettiin uusi *beam check* ja saatiin kuvan 71 (ks. seur. s.) mukainen kuva.



Kuva 71. Ensimmäisen linjalangoilla suunnatun kefalostaatin toinen *beam check*

Kuvista nähdään, että sädekeilaa olisi voinut laskea vielä hieman. Kuitenkin vasemmanpuolisesta keilasta nähdään, että keilat ovat juuri aktiivisen alueen sisäpuolella, mikä on kuvanlaadun kannalta hyväksyttävää. Onnistuneen *beam checkin* jälkeen otettiin vielä korvatukikuva (kuva 72), joka täytti laatukriteerit.



Kuva 72. Ensimmäisen linjalangoilla suunnatun kefalostaatin korvatukikuva

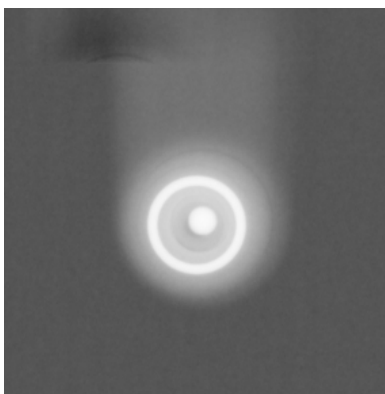
Tämän jälkeen suoritettiin uusi testi toisella SCARA3-kefalostaatilla. Koska edellisen kefalostaatin asennuksessa jouduttiin säätämään kefalostaattivartta *beam checkin* siirtämiseksi, kefalostaattipöydän kallistus säädettiin tällä kertaa suuntauslaserilla. Kefalostaattipöytä suunnattiin kefalostaattipöydän säätöruuveista niin, että suuntauslaser osoitti keskelle tähtäyspistettä. Kefalostaattivarren korkeudensäätö jätettiin samaan asentoon kuin edellisen kefalostaatin asennuksessa.

Asennetulla kefalostaatilla otettiin *beam check* -kuva (kuva 73). *Beam check* ei ole hyväksyttävä, koska säteet ovat vinossa ja hieman liian ylhäällä. Erillissuunnatessa tämän kefalostaatin kaihdinta linjalangat eivät ole olleet riittävän keskellä kaihdinaukkoja, mikä näkyy *beam check* -kuvassa vinona sädekeilana. Ilmeisesti linjalankojen sijainnilla kaihdinaukoissa on suunnatessa hyvin pienet toleranssit. Kuten ensimmäisenkin SCARA3-kefalostaatin asennuksessa, säde on aivan kuva-alueen yläreunalla.



Kuva 73. Toisen linjalangoilla suunnatun kefalostaatin *beam check*

Beam checkin jälkeen kefalostaatilla otettiin korvatukikuva (kuva 74). Korvatukikuva täyttää selkeästi laatuvaatimukset.



Kuva 74. Erillissuunnatun SCARA3-kefalostaatin korvatukikuva

Jälkimmäisen linjalankasuuntauksen tulokset eivät olleet suuntauslaadultaan hyväksyttäviä. *Beam checkin* korkeuden olisi voinut korjata säätämällä kefalostaattipöytää niin,

että suuntauslaser olisi osoittanut alemmaksi. Korkeus olisi voitu myös korjata nostamalla kefalostaattivartta.

Beam checkin vinous on suurin ongelma testiasennuksen tuloksissa. Sen suoristaminen on asentajalle työlästä ja aikaa vievää. Ilman aikaisempaa kokemusta kaihtimen säätämisestä, *beam checkin* suoraksi saaminen vaatii hyvin todennäköisesti useita säätökertoja ja *beam checkejä*. Kuvan 73 (ks. ed. s.) mukaisen huonon *beam checkin* kaihdin on kuitenkin huomattavasti helpompi suunnata kelvolliseksi kuin täysin suuntaamaton kaihdin.

9.4 Linjalankasuuntausmenetelmän arviointi

Linjalangoilla suuntaamista varten valmistetut suuntaustyökalujen prototyypit onnistuivat hyvin. Työkalut sopivat hyvin myös sellaisenaan tuotannon käyttöön, mutta niissä tulisi pyrkiä yksinkertaisempaan ja teollisempaan ratkaisuun työkalujen tuottamisen helpottamiseksi.

Suuntausvarressa esiintyi puutteita SCARA2-kefalostaattien suuntauksessa. Suuntausvartta ei pystytty kalibroimaan SCARA2-kefalostaattien suuntaukseen. Suuntausvarsi on kuitenkin mahdollista säätää toimimaan molempien varsistotyyppien kefalostaateissa ilman suuntaustyökalun rakenteellista muuttamista.

Linjalangat tekivät kefalostaatin suunnan ja kaihtimen asemoinnin hahmottamisesta helppoa. Suuntaaja näkee suoraan säätöjä tehdessään, mihin suuntaan kaihdinta pitää siirtää tai kallistaa. Tämä tekee teoriassa kefalostaatin suuntaamisesta nopeampaa, koska säätämistä ei tarvitse tehdä vaiheittain eikä tarvitse ottaa useita *beam check* -kuvia. Linjalankojen sijaintia kefalostaatin kaihdinaukoissa on kuitenkin paljain silmin hankala arvioida pienien mittaerojen vuoksi. Pienetkin virheet kaihtimen asennossa saattavat näkyä vinona sädekeilana *beam checkissä*. (ks. kuva 73, ed. s.)

Erillissuunnattujen kefalostaattien asennuksesta saadut tulokset olivat rohkaisevia. Erillissuunnatuissa SCARA3-kefalostaateissa kuvanlaatu saatiin lähes hyväksyttäväksi, joten asennusvaiheessa kefalostaatit vaativat vain hieman säätämistä. SCARA2-

kefalostaattien suuntaustuloksista ei voida vetää varmoja johtopäätöksiä niiden suuntaamisessa eteen tulleiden vaikeuksien vuoksi. Kaikilla asennetuilla kefalostaateilla korvatukikuvat olivat hyväksyttävän laatuksia. Huomattavaa oli, että kefalostaatin korvatukilaser ei kaikissa tapauksissa osunut kalibrointikefalostaatin määrittämään tähtäysmerkkiin, vaikka juuri suuntauslaserilla korvatuet säädetään kohdakkain.

Laadukkaat korvatukikuvat olivat suuntausmenetelmän käytettävyyden kannalta erittäin hyvä asia. Jos korvatukien kohdistusta joutuisi korjaamaan merkittävästi asennuksessa, myös kaihtimen säädöt muuttuisivat, mikä vaatisi kaihtimen uudelleensäätöä.

Linjalankasuuntauksessa ei otettu kantaa ortopantomografin suuntaamiseen, vaan menetelmässä oletettiin, että OPG:n kefalokuvaustilan kaihdinarvot ja kefalostaatin varren asento saadaan riittävän lähelle sopivaa asentoa oikeilla oletusarvoilla. Sopivat kaihdinarvot ja varren asento vaihtelevat kokoonpanossa ja panoraamakuvaustilan suuntauksessa syntyvien muuttujien vuoksi. Testiasennuksissa suuntausarvot määritettiin kalibrointikefalostaatin perusteella.

Erillissuunnattujen kefalostaattien asennuksissa ei jouduttu merkittävästi muuttamaan kaihdinarvoja tai varren korkeutta. Tämä johtui joko siitä, että OPG:n kokoonpanosta ja suuntauksesta johtuvat erot eivät ole merkityksellisen suuria tai sopivilla kaihdinarvoilla ja varren asennolla on suuret marginaalit.

Linjalankojen avulla erillissuunnatut kefalostaatit eivät olisi asiakkaalle saapuessaan laadullisesti yhtä hyviä kuin käytössä olevalla menetelmällä suunnatut kefalostaatit. Asentajan työmäärä kasvaisi, mutta ei merkittävästi. Tämä on kuitenkin asiakkaan näkökulmasta pelkästään negatiivinen asia.

Jälkiasennussarjoina myytävien kefalostaattien suuntauksen laatuun menetelmä toisi selkeän parannuksen, sillä käytössä oleva jälkiasennussarjojen suuntausmenetelmä on hyvin suurpiirteinen. Linjalankasuuntaus tulisi siis ottaa käyttöön ainakin jälkiasennussarjojen suuntauksessa, koska suuntaus ei veisi nykyiseen verrattuna merkittävästi enemmän aikaa, mutta olisi huomattavasti parempilaatuinen.

10 Päätelmät

Kahden suuntausmenetelmän testauksien perusteella voidaan muodostaa muutosehdotuksia röntgenlaitetuotantoon. Linjalankasuuntaus (ks. luku 9, s. 55) on lähes sellaiseen kelvollinen jälkiasennussarjoina toimitettavien kefalostaattien suuntaamiseen. Jälkiasenteisen kefalostaatin paranneltu suuntaus- ja asennusprosessi käydään läpi tämän luvun lopussa (ks. s. 79). Kummastakaan menetelmästä ei ole nykyisen suuntausmenetelmän korvaajaksi ilman muutoksia ja laajempaa testaamista.

Molempien suuntausmenetelmien testauksessa oli omat ongelmansa, joista kerrottiin tarkemmin menetelmien arvioinneissa (ks. luku 8.4, s. 53; luku 9.4, s. 76). Kummankin testin ongelmana oli kuitenkin liian pieni otanta. Resurssien ja ajan puutteen vuoksi molempia laitteita testattiin vain sen verran, että saatiin kuva menetelmän toimivuudesta. Testeissä esiintyneet onnistumiset ja virheet saattoivat olla vain yksittäistapauksia.

Asennettujen linjalankasuuntauksella suunnattujen kefalostaattien laatu oli rohkaisevan hyvä. Linjalankasuuntauksessa ei kuitenkaan suunnattu lainkaan kefalokuvaukseen liittyviä OPG:n kollimaattoriarvoja eikä kefalostaattivarren korkeutta, vaan niille annettiin yhden kefalostaatin mukaan määritetyt vakioasetukset.

Sopivat OPG:n kollimaattoriarvot ja varren korkeus kuitenkin vaihtelevat referenssi-suuntaustestin tuloksissa listattujen asioiden vuoksi (ks. s. 53), minkä vuoksi voidaan olettaa, että vakioksi määritetyt arvot eivät ole sopivia kaikkien OPG:iden kohdalla. Linjalankasuuntauksen laadun varmistamiseksi tulisikin tehdä suuri määrä koesuuntauksia ja -asennuksia, jotta saataisiin testikoneisiin tarpeeksi vaihtelua, ja selvitettyä OPG:n kefalostaatti-ominaisuuksien suuntauksen tarve.

OPG:n kefalokuvausasetusten suuntausta ilman asennettavaa kefalostaattia yritettiin referenssisuuntausmenetelmällä (ks. luku 8.2.1, s. 44). Suuntaustestissä ilmeni kuitenkin ProMaxin ohjelmiston rajoitteista johtuvia ongelmia, kun putkipäätä kohdistettiin kefalostaatin suuntauslaseriin (ks. s. 46). Asennettaessa kefalostaatteja eri laitteisiin

huomattiin, että OPG:n putkipään kohdistaminen suuntauslaserin mukaan saattoi muuttaa hyvin suunnatun kefalostaatin *beam checkin* hylätyksi.

Linjalankasuuntauksen testissä huomattiin, ettei suuntauslaserin tarvitse välttämättä osua putkipäähän, jotta korvatukikuvat olisivat hyviä (ks. s. 71). Tämä poistaisi referenssisuuntauksesta OPG:n asetuksien määrittämistä koskevat ongelmat. Menetelmästä olisi siis mahdollista kehittää OPG:n kefalostaattiasetusten määrittämiseen soveltuva suuntausmenetelmä. Jos kefalokuvauksen kaihdiravot voitaisiin suunnata luotettavasti ilman kefalostaattia, voitaisiin tämän luvun lopussa kuvailtua jälkiasenteisen kefalostaatin suuntausta käyttää kaikkien kefalostaattien erillissuuntaukseen, sillä tällöin asentajan työmäärä ei muuttuisi nykyisestä.

Jälkiasennuskefalostaatin suuntaus ja asennus

Jälkiasenteiset kefalostaatit suunnataan nykyään erillisinä (ks. luku 7.2, s. 35), mutta suuntauksen laatu on huonoa. Suuntaus on hyvin suurpiirteistä, ja jälkiasenteisten kefalostaattien asentaminen vaivalloista [5]. Työtä varten suoritetuista suuntaustesteistä sovelletulla uudella jälkiasenteisen kefalostaatin suuntausmenetelmällä suuntauksen laatu on merkittävästi parempi, mikä helpottaa asentajan työtä. Uusi suuntausprosessi vie hie-
man kauemmin aikaa kuin vanha, mutta tämä johtuu siitä, että kefalostaattia ei nykyisellä menetelmällä suunnata joiltakin osin lainkaan. Tässä osiossa käydään läpi uusi suuntaus- ja asennusprosessi.

Ensimmäiseksi kefalostaattivarsi asetetaan linjalankasuuntausta varten kehitettyyn suuntaustelineeseen. Varren korkeudensäätöosat säädetään niin, että varren yläpää on suuntaustelineen liikkuvan rungon yläreunan kanssa yhdensuuntaiset.

Kefalostaattipöytä kiinnitetään varren päähän. Kefalostaatin kelkat, kiskot ja liitin säädetään nykyisen suuntausmenetelmän mukaisesti suoraan, ja kelkkojen synkronointi tarkastetaan. Kefalostaattipöydän kiskojen suuntainen kallistus säädetään suuntaustelineen säätölevyn yläreunan mukaan yhdensuuntaiseksi. Tämän jälkeen kefalostaattiin asetetaan suuntauskorvatuot ja suuntauslaser. Laser tähdätään suuntaustelineeseen merkittyyn

varsistomallia vastaavaan ympyrään. Tämän jälkeen suuntauslaser ja suuntauskorvatuet irrotetaan kefalostaatista.

Kun kefalostaattipöytä on suunnattu, kefalostaattiin asetetaan suuntaussensori ja kaihdin. Linjalangat pujotetaan kaihtimen aukoista ja kiinnitetään suuntaustelineen säätölevyyn varsistomallia vastaaviin kiinnikkeisiin. Tämän jälkeen kaihdin ja sensorikelkat siirretään suunnilleen keskelle kefalostaattia. Seuraavaksi kaihdin säädetään sellaiseen asentoon, että linjalangat kulkevat sen läpi taipumatta ja koskematta kaihdinaukkojen reunoihin.

Kaihtimen säädön jälkeen kelkkoja liikutetaan vielä kiskojen päästä toiseen ja tarkkailaan, osuvatko linjalangat kaihdinaukkojen reunoihin missään vaiheessa kelkkojen liikkua. Jos linjalangat liikkuvat kaihdinaukoissa sivuttain, kelkkojen synkronointi on pielessä ja sitä tulee säätää. Jos linjalangat liikkuvat pystysuunnassa kaihdinaukoissa, kiskot eivät ole yhdensuuntaiset, ja ne tulee suoristaa.

Asennettaessa kefalostaatti kiinnitetään kefalostaatille määrättyä varsistomallia vastaavaan ProMaxiin. ProMax liitetään tietokoneeseen ja käynnistetään. ProMaxin käyttöliittymästä siirrytään kefalokuvaustilaan. Kefalostaatin sensoriliittimeen kiinnitetään Dimax-suuntaustyökalu ja siihen fluorenssilevy. Seuraavaksi ProMaxin käyttöliittymästä *ceph mode beam right position*, *ceph collimator x-right limit*, *ceph collimator y-top limit* ja *ceph collimator y-bottom limit* kalibroidaan käytössä olevan suuntausmenetelmän mukaisesti.

OPG:n kaihtimen kalibroinnin jälkeen kefalostaattiin asennetaan kaihdin ja otetaan Device Tool -ohjelmalla *beam check* ja korvatukikuva sensorin kalibrointi toiminnolla. Jos korvatukikuva ei ole hyväksyttävä, se tulee korjata ensin. Kun korvatukikuva on hyväksyttävä säädetään *beam checkiä* tarvittaessa. Lopuksi asentaja luo kalibrointi tiedostot käytössä olevan menetelmän mukaisesti.

Ennen uuden menetelmän käyttöönottoa, sitä tulee arvioida myös tuotannon työntekijän inhimillisestä näkökulmasta. Pystytäänkö hyvää ja tasaisenlaatuista suuntauksen laatua takaamaan, jos suuntauksen laatua ei tarkasteta *beam checkillä*? Onko linjalangan

sijainnin arvioiminen kaih dinaukoissa liian vaikeaa? Harjaantuuko suuntaajan silmä ja suuntauksen laatu paranee, vai päästääkö rutinoitunut suuntaaja huonommin suunnattuja kefalostaatteja asiakkaalle? Säädetäänkö hyvin suunnattua kefalostaattia vielä lisää ja tuhlataan aikaa? Onko suuntauksessa hyväksyttäviä toleransseja mahdollista oppia, vaikka suuntauksen lopputulosta ei pääse näkemään? Tämä kaikki saadaan selville vasta, jos menetelmä otetaan tuotannon käyttöön. Ongelmien torjumiseksi tulisi panostaa suuntaustyökalujen käyttäjäystävällisyyteen, suuntaajien perehdytykseen ja laadunvalvontaan nykyistä enemmän.

11 Pohdinta

Insinööriytyössä suunniteltiin kaksi suuntausmenetelmää, joiden tavoitteena oli pystyä suuntaamaan ProMax-kefalostaatti erillisenä isäntäkoneestaan. Molempia menetelmiä testattiin suuntauksen ja asennuksen näkökulmasta. Testien tulosten pohjalta esitettiin uusi jälkiasenteisten kefalostaattien suuntausmenetelmä.

Uusi jälkiasenteisten kefalostaattien suuntausmenetelmä ei tuo helpotusta suuntauksen ruuhkautumiseen. Se helpottaisi kuitenkin asentajan työtä ja lisäisi asiakastyytyväisyyttä. Ottamalla uusi menetelmä käyttöön tuotannossa, sen suuntauksen laatua voitaisiin testata normaalin tuotantotyön ohessa, jolloin myöhemmin sen hyödyntämistä kaikkien kefalostaattien suuntaamiseen voitaisiin arvioida paremmin.

Kaikkien tuotettavien kefalostaattien erillissuuntaukseen vaadittaisiin kuitenkin keino suunnata OPG:n kefalokuvaustila. Tätä voitaisiin testata suuntaamalla kefalostaatin kaih dinarvot referenssinä käytettävän kefalostaatin tai menetelmää varten suunnitellun suuntaustyökalun avulla. Tällöin kefalostaatit voitaisiin suunnata uudella jälkiasenteisen kefalostaatin suuntausmenetelmällä omalla linjallaan tuotannossa ilman säteilyn käyttöä, ja OPG:n kefalokuvaustila suunnattaisi ProMaxin suuntauksen yhteydessä.

Tulevaisuudessa suuntauksen tehostamistarve vain kasvaa. Planmecan hammasröntgenlaitteiden suuntausajat ovat kasvaneet jatkuvasti uusimpien laitteiden myötä, vaikka samalla suuntausprosesseja on automatisoitu. Tulevaisuuden ortopantomografi-

mallistoissa onkin todennäköisesti täysin automaattinen suuntaus. Teknologia tähän on jo olemassa, mutta sen tasoinen robotiikka, että kaikki suuntauksessa säädettävät osat voivat liikkua itsestään, maksaisi todennäköisesti huomattavasti enemmän kuin suuntaajan työpanos nykyisenlaiseen ortopantomografiin.

Kuitenkin Planmeca ProMaxin suuntauksessa on vielä automatisoinnin varaa koneen rakennetta muuttamatta SCARA-variston ansiosta. Esimerkiksi C-varren pyörähdyskeskipisteen säätäminen onnistuisi puoliautomaattisesti, jos potilastuki säädettäisiin ensin sopivaan kohtaan manuaalisesti, ja tämän jälkeen ProMax etsisi robottivarsistoa liikuttamalla ja testivalotusten avulla sopivan kuvausasennon. Myös yksinkertaisempien toimintojen, kuten panoraamakuvauksen kaihdinarvojen automaattinen kalibroituinen onnistuisi, jos ProMax voisi automaattisten testivalotusten perusteella iteroida sädekeilan optimaalisen sijainnin ja koon.

Lähteet

- 1 Planmeca Group – hammashoitoalan kärjessä. 2013. Verkkodokumentti. Planmeca Oy. <http://www.planmeca.com/fi/yritys/tietoa_planmecasta>. Luettu 15.4.2013.
- 2 Planmeca Group – asiantuntijavoimaa. 2013. Verkkodokumentti. Planmeca Oy. <http://www.planmeca.com/fi/yritys/planmeca_group>. Luettu 15.4.2013.
- 3 Planmeca Oy. 2013. Verkkodokumentti. Taloussanomien yritystietopalvelu. <<http://yritys.taloussanomat.fi/y/planmeca-oy/helsinki/0112773-2/>>. Luettu 15.4.2013.
- 4 Suomalaisen Planmecan 40-vuotinen taival maailman hammasalan yritysten kärkijoukkoon. 2013. Verkkodokumentti. Planmeca Oy. <http://www.planmeca.com/fi/yritys/tietoa_planmecasta/historia>. Luettu 15.4.2013.
- 5 Saikkonen, Antti. 2012. Tuotantomenetelmäsuunnittelija, Planmeca Oy, Helsinki. Sähköpostikeskustelu. 30.11.2012.
- 6 de Lyre, Wolf R. & Johnson, Orlen N. 1995. Essentials of Dental Radiography for Dental Assistants and Hygienists. Connecticut: Appleton & Lange.
- 7 Iannucci, Joen M. & Howerton, Laura Jansen. 2012. Dental Radiography Principles and Techniques. St. Louis: Saunders.
- 8 Whaites, Eric. 2003. Essentials of Dental Radiography and Radiology. Edinburgh, London, New York, Oxford, Philadelphia, St. Louis, Sydney, Toronto: Churchill Livingstone.
- 9 Nimien takana: Yrjö Paatero. 2012. Hammaslääkäri 8/2012, s. 47.
- 10 Athanasiou, Athanasios E. 1995. Orthodontic Cephalometry. London: Mosby-Wolfe.
- 11 Thurow, Raymond C. 1951. Cephalometric Methods in Research and Private Practice. The Angle Orthodontist 4/1951, s. 104-116. Luettavissa osoitteessa <<http://www.angle.org/doi/pdf/10.1043/0003-3219%281951%29021%3C0104%3ACMIRAP%3E2.0.CO%3B2>>.
- 12 Cephalometry. 2014. Verkkodokumentti. Planmeca Oy. <<http://planmeca.com/en/Imaging/Cephalometry/>>. Luettu 18.1.2014.
- 13 Imaging. 2014. Verkkodokumentti. Planmeca Oy. <<http://planmeca.com/en/Imaging/>>. Luettu 19.1.2014.
- 14 Materiaalipankki. 2013. Tietokanta. Planmeca Oy. <www.planmeca.com/fi/ladattavat_tiedostot/materiaalipankki>. Luettu 15.4.2013.

- 15 Planmeca ProMax & Planmeca ProMax 3D / 3D s technical manual. 2012. Käsi kirja. Planmeca Oy. Päivitetty 31.7.2012.

Räjätyskuva suuntaussensorista

